

[illegible]

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
„КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”

ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ
КАФЕДРА ПРОМИСЛОВОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ

До захисту допущено
Завідувач кафедри

_____ Ю.С. Ямненко
(підпис) (ініціали, прізвище)

„_____” _____ 2019р.

Дипломний проект
на здобуття ступеня бакалавра

з напрямку підготовки _____ 6.050802 Електронні пристрої та системи
(код та назва напрямку підготовки або спеціальності)

на тему Діагностика квазірезонансного перетворювача підвищуючого типу

Виконав: студент 4 курсу, групи ДС-51

_____ Миколайчук Петро Вікторович

(прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

Керівник _____ проф., д. т. н., проф. Терещенко Т. О.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Консультанти: _____ Технічний розділ

(назва розділу)

_____ (вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Рецензент _____

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті немає
запозичень з праць інших авторів без відповідних
посилань

Студент _____

_____ (підпис)

Київ – 2019 року

АНОТАЦІЯ

У роботі досліджено сучасні методи діагностики напівпровідникових перетворювачів, проведено аналіз методів та програмних засобів діагностики. Використано один з методів аналізу отриманих даних, а саме довідникових таблиць. Розроблено електричні схеми та описано електричні процеси в ШПП та квазірезонансних перетворювачах підвищуючого типу у різних режимах роботи. Зібрано дані діагностики на віртуальному макеті.

Дослідження проводилися за допомогою моделей, розроблених в пакеті розгалуження математичної системи *MATLAB R2019a – Simulink R2019a*.

Розроблено пристрій вимірювання та передачі діагностичної інформації, описано алгоритм збору інформації, передачі її в пристрій аналізу для виявлення несправностей та аварійних режимів.

Очікується, що результати досліджень суттєво сприятимуть подальшому розвитку діагностики квазірезонансних перетворювачів.

ANNOTATION

In the work are investigated modern methods of diagnostics of semiconductor transducers, the analysis of methods and software of diagnostics is carried out. One of the methods for analyzing the data, namely reference tables, has been used. The electric circuits have been developed and the electric processes in the PWC and quasirezonance converters of the elevated type are described in different operating modes. The research was carried out using models developed in the MATLAB R2019a mathematical system ramification package - Simulink R2019a. The device for measuring and transmitting diagnostic information is deployed, the algorithm of information gathering, its transfer to the analysis device for troubleshooting and emergency modes is described.

It is expected that the results of the research will significantly contribute to the further development of the diagnosis of quasi-resonance converters.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНІ ПОНЯТТЯ ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ	6
1.1. Методи технічної діагностики	6
1.2. Квazірезонансний перетворювач як об'єкт діагностування	12
1.3. Особливості діагностики квazірезонансного перетворювача	15
1.4. Аналіз програмних засобів моделювання електричних схем	17
1.5. Вирішення задачі діагностики.....	20
РОЗДІЛ 2. ЕЛЕКТРИЧНІ ПРОЦЕСИ В ПЕРЕТВОРЮВАЧАХ ПІДВИЩУЮЧОГО ТИПУ.....	22
2.1 Електричні процеси в ШІП.....	22
2.2 Електричні процеси в КРІП ПНС.....	26
РОЗДІЛ 3. ДІАГНОСТИКА КРІП ПНС.....	36
3.1. Моделювання перетворювача в середовищі <i>Simulink</i>	37
3.2. Дослідження впливу зміни параметрів внутрішніх елементів на роботу перетворювача.....	39
3.3. Розробка алгоритму діагностики КРІП ПНС.....	58
ВИСНОВКИ.....	64
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	66
Додаток. Перелік елементів.....	71
Додаток А.....	72

					ДС51.5103.007.001.ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Миколайчук П.В			Діагностика квazірезонансного перетворювача підвищуючого типу Пояснювальна записка			Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Терещенко Т.О								3	69
Реценз.								КПІ ім. Ігоря Сікорського ДС-41			
Н. Контр.		Батрак Л.М.									
Затверд.		Терещенко Т.О									

ВСТУП

У багатьох електронних пристроях перетворювачі є складовою з підвищеним споживанням електроенергії. Останнім часом відбувається різке зростання об'ємів випуску та покращення якості силових напівпровідникових пристроїв, що сприяє розробці та виробництву нових поколінь імпульсних перетворювачів електроенергії. При будь-якому виробництві необхідно контролювати якість продукції. Також, зважаючи на деградацію електронних компонентів, електричні системи виходять з ладу, саме тому перед інженерами стоїть питання розробки методів діагностики та прогнозування несправностей електронних систем.

Методи діагностики напівпровідникових перетворювачів різноманітні та базуються на використанні вейвлет-аналізу, нейронних мереж, часових та частотних характеристик, авторегресійних моделей, теорії прецедентів та багатьох інших.

Сучасні споживачі електроенергії потребують перетворювача, здатного працювати при низьких напругах на вході, мінімальних пульсаціях на виході та з високою ефективністю. Основною причиною зниження ефективності перетворювачів є втрати потужності в напівпровідникових ключах. Знизити ці втрати можливо із застосуванням м'якої комутації у перетворювачах, що досягається використанням резонансних ключів. Такі ключі лежать в основі квазірезонансних перетворювачів.

Найвища ефективність досягається коли параметри елементів схеми не відрізняються від розрахованих під час проектування. Зміни параметрів елементів – звичайне явище на сьогоdnішніх етапах розвитку електроніки, тому важливим завданням є виявлення цих відхилень.

					ДС51.5103.007.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

1. ЗАГАЛЬНІ ПОНЯТТЯ ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

1.1 Методи технічної діагностики

Розвиток електроніки, ускладнення технічних засобів та зростання ступеню автоматизації виводять на передній план проблематику управління станом складних електричних систем.

Методи діагностики напівпровідникових перетворювачів, є дуже різноманітними і базуються на використанні часових та частотних характеристик, авторегресійних моделей, вейвлет-аналізу, нейронних мереж, теорії прецедентів та багатьох інших. Аналіз сигналів, які є діагностичною інформацією та характеризують об'єкт діагностування - основа методів діагностики електричних систем. [1]

Технічна діагностика - галузь знань про розпізнавання стану технічних систем (об'єктів), що досліджує форми проявлення технічного стану, розробляє методи і засоби його визначення. [2]

Завдання технічної діагностики:

- визначення технічного стану об'єкта діагностування в умовах обмеженої інформації;
- вивчення методів і засобів отримання діагностичної інформації;
- розробка алгоритмів автоматизованого пошуку дефектів;
- мінімізація витрат на постановку діагнозу.

Технічна діагностика вивчає методи отримання та оцінки діагностичної інформації, та базується на двох теоріях: теорії розпізнавання і теорії контролепридатності.

Теорія, засоби, методи виявлення та пошуку дефектів електротехнічних об'єктів – сфера охоплення технічної діагностики. [3] Перший крок процесу діагностування - контроль працездатності об'єкта діагностування. У випадку

					ДС51.5103.007.001.ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виявлення непрацездатного стану, виконується другий крок - діагностування пошуки несправностей та їх локалізація, виявлення причин виникнення.

Метою технічної діагностики напівпровідникового перетворювача – об'єкта діагностики, є виявлення його стану та режиму роботи. Зазвичай, при контролі виконується якісна оцінка (роботоздатність, наявність дефекту і т.д.). Проте, в результаті вимірювань та виконання контрольних операцій, можливо отримати і кількісну оцінку (ступінь роботоzдатності).

Основні етапи діагностування електротехнічного об'єкта:

1. збір діагностичної інформації;
2. постобробка діагностичної інформації;
3. аналіз діагностичної інформації.

Збір діагностичної інформації відбувається завдяки використанню системою діагностування зовнішніх або вбудованих датчиків. Контрольні точки та їх вибір виконується з використанням теорії чутливості [4, 5]. Розрахунком функцій чутливості визначається чутливість об'єкта до зміни окремих параметрів.

Зібрана інформація буває:

- електричною величиною, якій не потрібні перетворення;
- електричною величиною, якій потрібні перетворення;
- неелектричною величиною, якій потрібні перетворення;
- такою, що оцінюється візуально.

Під час другого етапу діагностики електротехнічного об'єкта відбуваються перетворення даних для отримання найважливішої інформації про об'єкт діагностування.[6] Діагностична інформація, у своїй більшості, така що потребує подальших перетворень.

Дискретизація, апроксимація поліномами, згладжування, фільтрації, інтегрування та диференціювання – процедури, які можуть застосовуватись для постобробки даних.[7] Перетворення здійснюються з використанням перетворень Фур'є, Лапласа, z-перетворень, спектральних перетворень

					ДС51.5103.007.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

Уолша та Хаара, дискретних перетворень на кінцевих інтервалах та вейвлет-перетворень.[8-10]

Під час третього етапу діагностики відбувається аналіз інформації та визначення стану об'єкта діагностування. Аналіз полягає в порівнянні даних, отриманих для певного інтервалу часу, з даними, збереженими для попередніх часових інтервалів.[11] Метод струмової діагностики є одним з методів пошуку несправностей елементів електричного кола, заснований на використанні математичної моделі пристрою у вигляді матриці. [12] Недоліком подібних методів діагностики – вимога роботи лише одного елемента на кожному кроці квантування. Таку умову в реальних силових схемах забезпечити неможливо.

Теорія розпізнавання образів, матричні методи, кореляційний аналіз, нейронні мережі, методи на базі узгоджених фільтрів, на розрахунку математичного очікування та теорія класифікації [13-19] набули широкого використання при визначенні стану об'єкта діагностування.

На основі аналізу літературних джерел [20-24] було виявлено, що загальноприйняті процеси діагностування базуються на наступних методах:

1. Метод вимірювань, в основі якого використання контрольно-вимірювального обладнання.

2. Метод індикаторів, що базується на високоінформативних показниках штатних індикаторів, на основі яких можна з певною долею ймовірності встановити факт наявності або відсутності несправностей як в окремому електронному елементі так і в групі елементів.

3. Органолептичний метод дає можливість за допомогою органів чуття людини виявити місця дефектів.

Наведені вище методи відносяться до пасивних, а більш широкі можливості мають активні методи:

					ДС51.5103.007.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

4. Метод заміни, який базується на заміні підозрілого елемента або модуля на справний. Дефект вважається усуненим, якщо після заміни зникло його зовнішнє проявлення.

5. Метод виключення, в основі якого тимчасовий розрив або замикання елементів схеми.

6. Метод впливу, що ґрунтується на аналізі поведінки схеми на можливі маніпуляції: прокручування регуляторів змінних резисторів, замикання виводів транзисторів (емітер з базою, емітер з колектором), зміни значень напруги джерел живлення і т.п. маніпуляції.

7. Метод електропрогону, який дозволяє виявити дефекти, що постійно проявляються і оцінити якість зробленого ремонту.

8. Метод еквівалентів, заснований на тимчасовому відділенні частин схеми та заміною їх еквівалентним набором елементів, які однаково на неї впливають. Подібними ділянками схем зазвичай виступають генератори імпульсів, додаткові джерела напруги, еквіваленти навантаження.

До недоліків перерахованих методів відноситься низька ефективність, що проявляється переважно при серійних і масових виробництвах перетворювачів. Окрім цього, при ручному методі діагностики неможливо перевірити електронну схему в складних динамічних режимах.

Це викликало необхідність створення методів і засобів автоматизованого контролю схем перетворювачів на етапі їх виробництва.

У підходах пошуку несправностей, що базуються на методах параметричної ідентифікації, виявлення несправних елементів відбувається шляхом потрапляння параметрів елементів у визначені межі.

Передбачається, що топологія кола відома. В цілому, існує підмножина допустимих (тестових) вузлів схеми, до яких можливо прикладати і (або) виводити напруги та струми, а інші вузли схеми розуміються як внутрішні (недоступні), для яких дані операції назагально неможливі. Загалом вважається, що номінальні значення параметрів відомі.

					ДС51.5103.007.001.ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відмінною особливістю методів параметричної ідентифікації є лінійність або нелінійність діагностичних рівнянь. Нелінійним діагностичним властиве визначення локально єдиного рішення, а лінійним – глобального.

У матеріалах [25, 26] запропоновано мікропроцесорну систему керування, яка не лише формує керуючі імпульси, а й здійснює адаптацію параметрів перетворювача та навантаження забезпечуючи їм багатоступеневий захист. Такі завдання покладаються на системи керування багатьох сучасних електротехнічних об'єктів.

Складнощі використання таких мікропроцесорних систем діагностики напівпровідникових перетворювачів та їх управління зв'язані з обчисленнями за складними алгоритмами в реальному часі на високих частотах, що вимагає використовувати швидкодіючі мікропроцесорні пристрої.

Метод контролю несправностей застосовується при вирішенні задач локалізації несправних електронних компонентів при малих кількостях вимірювань, тому що на практиці число проведених вимірювань n_m менше числа електронних компонентів схеми n_ϕ . Крім того можна припустити, що число несправних електронних компонентів настільки мізерне, що справедлива нерівність $n_f < n_m < n_\phi$.

Наближені методи застосовуються при рішенні задач локалізації несправних електронних компонентів при їх малих кількостях. На їх основі розпізнаються компоненти з більшою ймовірністю несправності при визначенні встановленого критерію перевірки. Для даних методів властиві досить великі оперативні обчислення.

Концепція методу довідників [27] передбачає порівняння характеристик (електричних, теплових, механічних і т.д.) діагностованого перетворювача з деякими еталонними значеннями.

Першим етапом створення довідника (довідкової таблиці) є формування визначень невідповідностей, що охоплюють найбільш допустимі

					ДС51.5103.007.001.ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

їх типи. Відмічений аспект дуже важливий для всього підходу, тому що в результаті можуть бути визначені лише ці типи несправностей. Необхідно прийняти до уваги і велику кількість типів несправностей. Звісно, від цього числа залежить розмір довідника, що накладає обмеження на використання методу.

Далі діагностоване коло супроводжується моделюванням для кожного гіпотетичного випадку несправності, що дає можливість сформувати усю таблицю вхідних і вихідних реакцій, на основі яких визначатимуться та локалізуватимуться несправності. Характеристики вихідних реакцій вносяться в довідник для подальшого використання з метою оперативного розпізнавання несправностей. Для забезпечення накопичення мінімального розміру даних, які дозволяють добитися необхідного ступеню визначеності і локалізації, слід оптимізувати вибір вхідних та вихідних реакцій.

У процесі пошуку несправностей діагностоване коло підлягає впливу ідентичного вхідного сигналу, що використовувався при створенні довідника. Отримані сигнали співставляються із сигналами, внесеними в довідник. Для ідентифікації несправності перетворювача за одним із внесених в довідник видом несправності та невизначених випадків застосовується критерій локалізації несправностей.

Метод достатньо простий в розумінні та використанні, і в свою чергу є універсальним, тому що його застосування допустимо при електричному, тепловому і механічному діагностуванні. [2, 28]

Застосування електричного, теплового механічного методів діагностики, є більш поширеним для процесу діагностики напівпровідникових перетворювачів, а всі основні види несправностей можуть визначатися одним з наведених методів або їх комбінаціями. При цьому найбільш оптимальною для напівпровідникових перетворювачів є електричний метод діагностики, оскільки основа роботи цих пристроїв - передача електричних сигналів.

					ДС51.5103.007.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

При застосуванні методу довідників для електричного діагностування, вимірюють значення напруг у контрольних точках, що відповідають різним видам дефектів, та вносять в базу характерних несправностей. Далі отримані значення порівнюються зі значеннями в базі. Найменше значення критерію локалізації відповідає виду і місцю несправності.

$$S = \min \left(\sqrt{\sum_j \left(\frac{m_j - c_{ij}}{m_j} \right)^2} \right), i = 0 \dots k,$$

де i - номер контрольної точки; m - виміряне значення напруги в контрольній точці; j - номер дефекту в переліку довідника; c - розраховане значення напруги в контрольній точці.

1.2 Квazірезонансний перетворювач як об'єкт діагностування

Квazірезонансний перетворювач у межах об'єкта діагностики характеризується взаємозв'язком роботи елементів схеми, зміною параметрів головних вузлів перетворювача під час роботи, напругами на елементах та їх струмами. Стан квazірезонансного перетворювача залежить від температури, частоти комутації, струмів та напруг навантаження, режимів роботи і методів монтажу електронних компонентів при виробництві. Визначення, вимірювання та аналіз цих даних обов'язкові в процесі діагностування. Вирішення задачі діагностики квazірезонансного перетворювача – аналіз електричних процесів перетворювача за діагностичними даними та визначення його режиму роботи.

Для отримання діагностичної інформації контрольними точками обирають вузли схеми, з яких можливо зібрати найбільшу кількість даних, так як зміні діагностичних певних показників відповідають певні несправності в схемі. За результатами досліджень, про зміни параметрів

					ДС51.5103.007.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

елементів напівпровідникового перетворювача або про появу його несправностей свідчать зміни форм часових діаграм його струмів та напруг. [11, 29-32]

Використовуючи напруги та струми в контрольних точках квазірезонансних перетворювачів як дані для діагностики, необхідно враховувати їх форми, присутність в отриманих сигналах шумів і знати залежність ряду даних на поточний стан діагностованого пристрою.

Множина можливих станів квазірезонансного перетворювача складається з працездатних та непрацездатних. Аварійні режими входять до працездатних станів, але потребують оперативної детальної діагностики елементів перетворювача для запобігання зв'язаних між собою незворотних процесів між електронними компонентами. Нагрів або інший зворотній вплив може призвести до змін параметрів елемента, що в свою чергу запустить незворотню реакцію інших елементів та призведе до самознищення квазірезонансного перетворювача.

Визначенню стану напівпровідникових ключів приділяється значна увага при діагностиці напівпровідникових перетворювачів загалом та квазірезонансних зокрема. Їх пошкодження провокують не лише внутрішні дефекти, а й вихід з ладу допоміжних елементів таких, як RC-кола та резистивні ділянки напруги.

Стан квазірезонансного перетворювача визначається за параметрами з таких його складових: силового ключа, трансформатора, котушок індуктивності, конденсаторів та резисторів, тому ці складові є джерелом найважливіших даних. [34]

Найбільша кількість несправностей перетворювачів пов'язана із зміною стану електролітичних конденсаторів. Такі конденсатори мають обмежений термін служби, що часто коротший ніж у силових напівпровідників. Отже,

					ДС51.5103.007.001.ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

надзвичайно важливим є включення їх в діагностику. Несправності конденсатора поділяються на повний обрив чи пробій та несправності, що поступово змінюються. В табл. 1.1 наведені можливі стани електронних компонентів перетворювачів [35-42].

Таблиця 1.1

Можливі стани електронних компонентів перетворювачів

Компонент	Можливий стан
Транзистор	<ul style="list-style-type: none"> • справний • обрив • коротке замикання • некерованість
Резистор	<ul style="list-style-type: none"> • справний • обрив • відхилення опору від номіналу
Конденсатор	<ul style="list-style-type: none"> • справний • обрив • пробій • зменшення ємності • збільшення внутрішнього опору
Котушка індуктивності	<ul style="list-style-type: none"> • справний • обрив • міжвиткове замикання • міжшарове замикання

У конденсаторах обрив характеризується повною відсутністю ємності, у такому випадку можливий аварійний стан. Якщо ємність нижча за номінальне значення – передаварійний стан, що може призвести до аварійного. Зниження ємності електролітичних конденсаторів пов’язане із висиханням електроліту.

При зростанні внутрішнього опору конденсатора зменшується його піковий струм при розряді та заряді, збільшується затримка. Пробій електролітичного конденсатора характеризується значним падінням

внутрішнього опору та пояснюється замиканням всередині конденсатора.
[43]

Несправності силової частини напівпровідникового перетворювача зазвичай призводять до появи залежних відмов та розвитку аварійних ситуацій. Такі відмови суттєво ускладнюють процеси діагностики, тому важливо навчитися передбачати їх.

1.3 Особливості діагностики квазірезонансного перетворювача

Діагностична інформація, необхідна для визначення режиму роботи та стану електронних компонентів збирається в контрольних точках схеми квазірезонансного перетворювача. В цю інформацію входять значення напруг на напівпровідниковому ключі (МДН транзистор), на резонансних елементах (ємності та індуктивності резонансного ключа), на некерованому вентилі (випрямляючому діоді) та вхідній індуктивності (дроселі) в моменти часу, залежні від нульового струму комутації перетворювача. Також діагностичними даними визначено струми напівпровідникового ключа та навантаження. Важливо відмітити, що неаварійний режим роботи досліджуваного квазірезонансного перетворювача можливий лише при комутації за нульового струму. В інших, відмінних від вищезгаданого, випадках не відбувається так зване «м'яке перемикання» і квазірезонансний перетворювач починає працювати як звичайний ШІП, проте з нижчим ККД. Саме тому першочергові дані необхідно збирати в залежності від стану (робочого моменту) напівпровідникового ключа та перевірки забезпечення комутації за нульового струму.

Якщо отримані дані напруг ключа та схеми управління пройшли перший тест на валідність, відбувається отримання даних другого рівня пріоритетності – напруг на діоді та індуктивності у задані моменти часу та

					ДС51.5103.007.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

порівняння їх з інформацією, зібраною раніше, при ідеально працюючому перетворювачі.

Такими є відмінності в методиці діагностики квазірезонансного перетворювача від інших, описаних вище узагальнених методик для будь-яких перетворювачів.

Дані третього рівня пріоритетності – середні значення напруг та струмів живлення, навантаження, температури напівпровідникових елементів дуже інерційні і для визначення аварійного стану годяться лише після декількох (15-30) ітерацій, а не моментально.

Аварійні режими в квазірезонансних перетворювачах поділяють на зовнішні, внутрішні та перенапруги. [44] Зовнішніми називають ті, що зумовлені факторами поза схемою, середовищем. Робота стосується будь-якого режиму, тому що діагностується не першопричина, а реакція схеми і в залежності від отриманих даних можливо точно визначити що це був за вплив.

Методом діагностики КРП було обрано табличний метод (метод довідників) завдяки простоті та надійності розробленого алгоритму та можливості подальшого написання програми для системи на мікроконтролері.

Нижче наведено алгоритм роботи методу довідників, що полягає в порівнянні отриманих та оброблених даних з еталонними значеннями.

1.4. Аналіз програмних засобів моделювання електричних схем

З швидкими темпами розвитку електронно-обчислювальної техніки стало можливим використання комп'ютерних методів математичного моделювання, що поступово витісняє природний експеримент. Повне або часткове застосування даних методів у значній мірі дозволить скоротити час проектування.

					ДС51.5103.007.001.ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

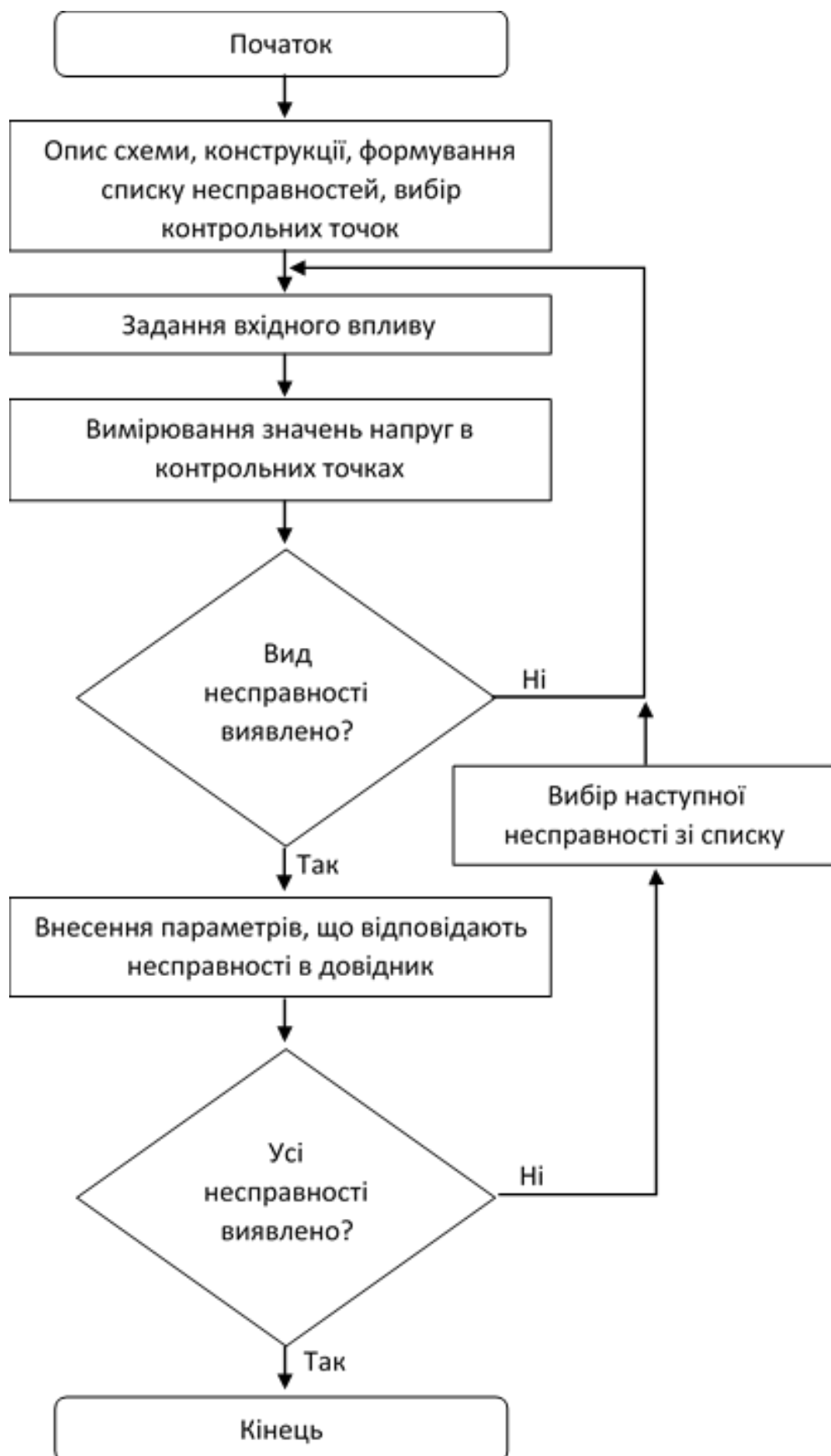


Рис.1.1. Алгоритм методу довідників

Впровадження методів комп'ютерного моделювання в процес створення електронної бази характерних несправностей за допомогою Spice подібних програм електричного моделювання, ефективним чином впливає на інформативність самої бази.

До широко застосовуваних програмних засобів такого моделювання відносяться: PSpice, Multisim, CircuitMaker, KTechLab, Simulink та інші.

Програма Pspice є світовим лідером у сфері автоматизації схемотехнічного проектування. Так як використовується єдиний вибіркоковий алгоритм, то й програми різних виробників загалом є графічними оболонками, які надають користувачу доступний функціонал програми Pspice і також ряд додаткових можливостей обробки отриманих даних. Типовий набір засобів аналізу включає в себе наявність аналізу Монте-Карло, статичного, динамічного, частотного, температурного, шумового та спектрального аналізів, змішаного логіко-аналогового моделювання.

Multisim – програма розроблена фірмою National Instruments. Являється унікальним середовищем розробки схем, її тестування та емуляції в одному середовищі розробки. Даний підхід характеризується рядом переваг. Користувачу Multisim непотрібні знання складного синтаксису SPICE та його команд, але є існує можливість налаштування всіх параметрів SPICE.

Окрім традиційних аналізів SPICE, Multisim дає можливість підключати до схеми віртуальні пристрої. Концепція віртуальних пристроїв - простий і швидкий варіант одержання результатів за допомогою імітації реальних явищ.

У випадку більш важких аналізів, Multisim має більше 15 різних функцій аналізу: АС аналіз, Монте-Карло, аналіз найбільш несприятливих умов, Фур'є і т.д. У складі Multisim міститься Grapher - ефективний інструмент візуалізації та аналізу даних емуляції.

					ДС51.5103.007.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Існуючі в Multisim функції різного опису та тестування схеми, які дозволяють розробнику схем заощаджувати свій час і вберегти від помилок на всіх шляхах розробки схеми.

CircuitMaker - найпростіша система моделювання фірми Microcode Engineering (на сьогодні є власністю компанії Altium). У цій системі прийняті моделі компонентів стандарту SPICE. В програму включена велика бібліотека моделей електронних компонентів, що випускається промисловістю, характеристики яких можна оперативно переглядати. У програмі є можливість швидкої та оперативної підготовки електричних схем аналогових, цифрових або змішаних аналогово-цифрових пристроїв і проведення їх моделювання. Результати можна отримувати у вигляді осцилограм сигналів і графіків частотних характеристик. Програма дозволяє здійснювати контроль режиму за постійним струмом у вибраних точках схеми.

Simulink - це графічне середовище моделювання та аналізу багатодомених динамічних систем, розроблене фірмою MathWorks. Графічний інтерфейс є інструментом побудови діаграм та систем за допомогою набору бібліотек блоків. Підтримується тісна інтеграція з рештою середовища MATLAB і може або управляти MATLAB, або бути скриптованим з нього. Simulink широко використовується в автоматичному контролі та цифровій обробці сигналів для багатодоменого моделювання та модельного проектування.

Simulink може автоматично генерувати вихідний код С для реалізації систем у реальному часі. Оскільки ефективність і гнучкість коду покращуються, ця особливість стає все більш широко застосовуваною для виробничих систем, крім того, завдяки гнучкості та здатності до швидкої ітерації.

Таким чином, аналіз програмних засобів схемотехнічного моделювання показав, що існуючі програмні засоби дозволяють достатньо точно і швидко

					ДС51.5103.007.001.ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

проводити повний аналіз електричних схем, але вони не мають єдиного середовища, в якому можливо створювати як математичну модель об'єкта діагностування, так і доповнювати дану модель експериментальними даними за допомогою апаратних засобів вводу-виводу, з'єднаних з реальним фізичним об'єктом.

1.5 Вирішення задачі діагностики

До основних завдань діагностики відноситься:

1. визначення працездатності досліджуваного об'єкта;
2. діагностування і локалізація несправностей, за умови непрацездатного стану об'єкта.

Таким чином, основними цілями дипломної роботи є:

- підвищення ефективності діагностування схем квазірезонансних перетворювачів за рахунок збільшення точності локалізації несправностей комплектуючих елементів електричної схеми;
- розробка системи діагностування і засобів забезпечення оцінки технічного стану схеми на основі математичного моделювання пристроїв з урахуванням взаємного впливу фізичних процесів.

Для досягнення поставлених цілей в діагностиці перетворювачів необхідно вирішити наступні задачі:

- 1) Розробити концепцію побудови системи діагностування електричних схем з урахуванням взаємовпливу фізичних процесів.

Для цього необхідно:

- а) розробити вимоги до системи діагностування;
 - б) розробити інформаційну модель системи діагностування;
 - с) розробити архітектуру системи діагностування.
- 2) Розробити методику діагностування електричних схем.

					ДС51.5103.007.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

3) Провести необхідні комп'ютерні моделювання процесів для збору діагностичної інформації для всіх можливих аварійних режимів.

4) Провести експериментальні дослідження розробленої системи діагностування на реальній моделі.

У розділі проведено аналіз методів діагностування електронних засобів, що застосовуються на сьогоднішній день. В результаті аналізу зроблено висновок про гнучкість застосування на практиці методу довідників.

Розглянуто найбільш поширені методи діагностики електронних схем перетворювачів, що застосовуються в цілях виявлення невідповідностей та несправностей.

Також проведено аналіз існуючих апаратних і програмних засобів моделювання та діагностування схем перетворювачів. Аналіз показав, що сучасні методи математичного моделювання та розвиток комп'ютерних технологій дозволяють досить точно і швидко провести повний аналіз електричних схем, але існуючі програмні засоби не мають єдиної середовища, в якому можливо створювати як математичну модель об'єкта діагностування, так і доповнювати модель експериментальними даними за допомогою апаратних засобів вводу-виводу, пов'язаних з реальним фізичним об'єктом.

На основі проведеного огляду та аналізу предметної області сформульовано такі цілі: підвищення ефективності діагностування схем квазірезонансних перетворювачів та розробка систем діагностування і засобів забезпечення оцінки технічного стану схеми.

					ДС51.5103.007.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Розділ 2. ЕЛЕКТРИЧНІ ПРОЦЕСИ В ПЕРЕТВОРЮВАЧАХ

2.1 Електричні процеси в ШП

Імпульсні перетворювачі є невід'ємною частиною сучасної силової електроніки. Вони призначені для перетворення напруги джерел живлення в стабілізовану напругу вищого або нижчого значення з високою ефективністю. Перетворювачі підвищуючого типу передають маленькі порції енергії, використовуючи силовий ключ, діод, котушку індуктивності та фільтруючий конденсатор. Незважаючи на те, що розміри і рівень шумів імпульсних перетворювачів значно більші ніж у їх лінійних аналогів, але імпульсні перетворювачі в більшості випадків мають більш високий ККД.

У даній роботі розглядається тільки одна топологія ШП - з фіксованою частотою комутації, широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ) і роботою в режимі безперервного струму. Обговорювані принципи можуть бути застосовані до інших топологій, але наведені рівняння і діаграми перехідний процесів безпосередньо до них застосовувати не можна.[45]

Для стабілізації середнього значення вихідної напруги ШП на рівні номінального середнього значення вхідної напруги або вище необхідно використовувати перетворювач з коефіцієнтом перетворення по напрузі більше одиниці. Перетворювач напруги з такими властивостями можна отримати, якщо забезпечити роздільні в часі процес накопичення енергії в реактивному елементі вхідного ланцюга (індуктивності) і процес передачі цієї енергії в реактивний елемент вихідного ланцюга (ємності). Управління коефіцієнтом передачі досягається шляхом зміни співвідношення між тривалістю цих двох процесів, а частота їх повторення визначатиме (обернено пропорційно) величини зазначених реактивних елементів.[46]

					ДС51.5103.007.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

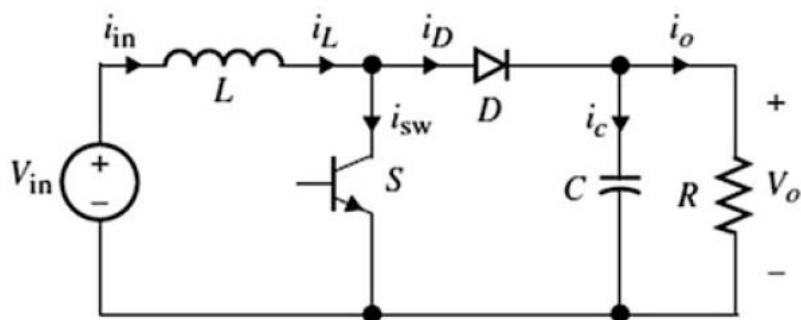


Рис. 2.1. Схема підвищуючого ШПП

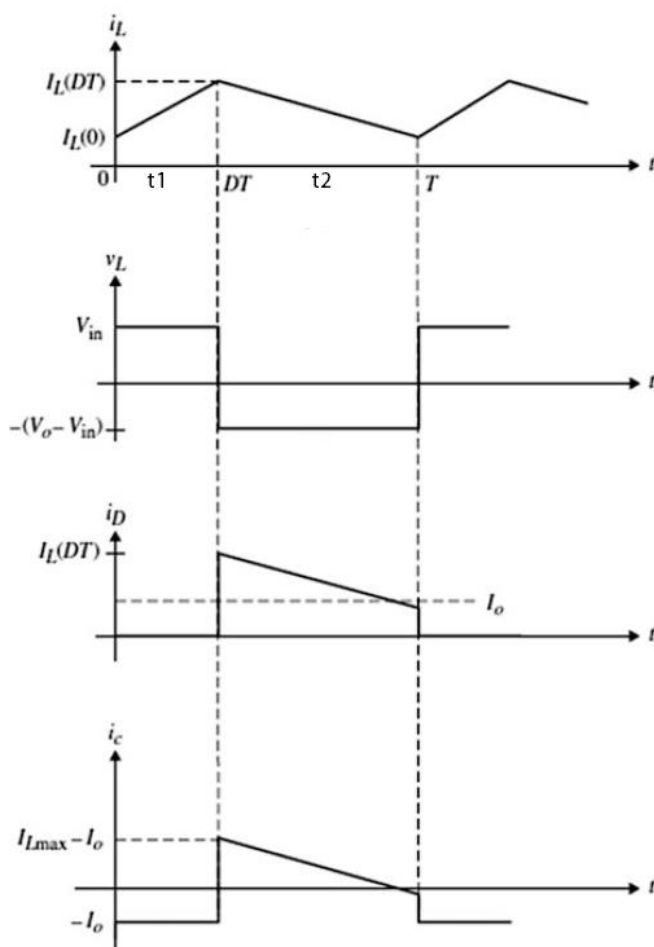


Рис. 2.2 Часові діаграми струмів та напруг підвищуючого ШПП

Схема підвищуючого перетворювача на базі такої концепції показана на рис. 2.1, а діаграми струмів і напруг елементів схеми при кінцевій величині індуктивності навантаження і ємності фільтрового конденсатора - на рис. 2.2.

При замкнутому транзисторі S на інтервалі часу t_1 в накопичувальному дроселі L наростає струм і запасається енергія, що відбирається від джерела вхідної напруги $U_{вх}$. Навантаження R при цьому отримує енергію від накопичувального конденсатора C, що має певний заряд.

У цей інтервал часу відбувається накопичення енергії, а струм індуктивності описується за законом:

$$i_L(t) = \frac{1}{L} V_{in} t + I_L(0), 0 \leq t < DT,$$

де $I_L(0)$ - початкове значення струму індуктивності при $t=0$.

При розімкнутому транзисторі S на інтервалі часу t_2 струм дроселя L через діод D протікає на вихід перетворювача в навантаження R і в конденсатор C, заряджаючи його і цим заповнюючи втрату енергії на інтервалі t_1 . Напруга котушки $V_L = V_{in} - V_o$, а струм $I_L(t)$:

$$i_L(t) = \frac{1}{L} (V_{in} - V_o)(t - DT) + I_L(DT), DT \leq t < T.$$

Тоді передача напруги описується:

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{1}{1 - D}.$$

Так як у перетворювачах підвищуючого типу коефіцієнт передачі за напругою > 1 , то струм пульсацій:

$$\Delta I = I_L(DT) - I_L(0) = \frac{1}{L} V_{in} DT = \frac{1}{L} V_o D(1 - D)T.$$

Середнє значення вхідного струму таке ж як значення струму котушки:

$$I_{in} = \frac{I_{L,max} + I_{L,min}}{2}, \text{ а середній струм на виході такий же як і струм діода:}$$

$$I_o = \left(\frac{I_{L,max} + I_{L,min}}{2} \right) (1 - D) = \frac{V_o}{R}.$$

В ідеального перетворювача потужність на вході та на виході однакові:

					ДС51.5103.007.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

$$V_{in} I_{in} = V_o I_o,$$

$$\text{а отже } \frac{I_{in}}{I_o} = \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{1}{1-D}.$$

Скориставшись наведеними вище формулами легко виразити мінімальний та максимальний струми котушки індуктивності:

$$I_L(0) = I_{L\min} = V_{in} \left(\frac{1}{R(1-D)^2} - \frac{DT}{2L} \right);$$

$$I_L(DT) = I_{L\max} = V_{in} \left(\frac{1}{R(1-D)^2} + \frac{DT}{2L} \right).$$

При додатніх значеннях $I_{L\min}$ та $I_{L\max}$, перетворювач працюватиме в режимі неперервного струму. Прирівнявши $I_{L\min}$ до нуля, знайдено критичне значення струму індуктивності:

$$L_{crit} = \frac{RT}{2} (1-D)^2 D.$$

Так як середнє значення напруги конденсатора співпадає зі значенням вихідної напруги, тоді можливо знайти напруги конденсатора в різні моменти часу:

$$V_c(0) = V_o + \frac{I_o DT}{2C};$$

$$V_c(DT) = V_o - \frac{I_o DT}{2C}.$$

Пульсації напруги на конденсаторі такі ж як напруги на виході та виражаються таким чином:

$$|\Delta V_c| = |\Delta V_o| = V_c(0) - V_c(DT) = \frac{I_o DT}{C} = \frac{V_o DT}{RC}.$$

Коефіцієнт пульсацій перетворювача:

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{DT}{RC} = \frac{D}{RCf} \cdot [3]$$

2.2 Електричні процеси в квазірезонансних перетворювачах підвищуючого типу

Розглянуті вище широтно-імпульсні перетворювачі характерні тим, що струми в силових ключах і напруги на них в моменти включення і виключення змінюються стрибком.

Подібні форми струмів і напруг притаманні і ключам перетворювачів з керованим обміном енергією між реактивними елементами схеми, де таке керування досягнуто за рахунок широтно-імпульсного регулювання. Але скачки струмів і напруг - ідеалізація реальних динамічних процесів, при яких на силових ключах зберігаються високі значення напруги при високих значеннях струму. Це викликає великі втрати активної потужності при вмиканні та вимиканні, що диктує необхідність обмежувати верхню частоту перемикання транзисторів на рівні кілогерц в потужних перетворювачів і на рівні десятків кілогерц в малопотужних перетворювачах. [46]

У ШПП перемикання напівпровідникових пристроїв зазвичай відбувається при високих значеннях струму. Тому при перемиканні на високих частотах ці перетворювачі нагріваються і мають низьку ефективність, що пов'язано з високими втратами потужності в елементах, що виконують функції ключа. Крім того, ці перетворювачі страждають від електромагнітних шумів, викликаних високочастотними гармонічними складовими, пов'язаними з їх формами напруг та квазі-квадратними струмами при комутації.

Незважаючи на те що з розвитком технологічного прогресу зросла частота перемикання ШПП, їх робоча частота обмежена вищезазначеними факторами. При квазірезонансному методі уникнення комутаційних втрат у напівпровідникових ключах зумовлено тим, що струм через ключ в точці перемикання дорівнює або близький до нуля. Такий спосіб зменшення втрат

при перемиканні дозволяє розробнику досягти більш високої робочої частоти, не жертвуючи ефективністю перетворювача.

У порівнянні з ШІМ-перетворювачами, квазірезонансні перетворювачі мають перспективи зниження масогабаритних показників. В даний час доступні квазірезонансні перетворювачі, що працюють в діапазоні декількох мегагерц. Іншою перевагою резонансних перетворювачів над ШІМ-перетворювачами є зменшення вмісту гармонік у напрузі перетворювача та осцилограмі струму. Тому, коли резонансні і ШІМ-перетворювачі працюють на одному і тому ж рівні потужності і частоті, можна очікувати, що резонансний перетворювач матиме нижчі показники створених ним електромагнітних шумів.

Відомо, що струм в індуктивності не може змінюватися стрибком, як і напруга на ємності. Тому очевидні переваги спільного використання з ключем котушки та конденсатора, включених відповідним чином, як показано на рис.2.2.1, і названих резонансними ключами. З них утворюється резонансний контур, власна частота якого визначає швидкість зміни напруги і струму ключа і, головне, розносить у часі максимуми струму і напруги ключа, що суттєво зменшує втрати при перемиканні ключа. Це дозволяє підняти, як правило, на один-два порядки граничну частоту комутації вентилів. При цьому потрібно тільки враховувати, що коефіцієнт форми у синусоїдальної півхвилі струму більший в $\pi/2$ разів, ніж у прямокутного імпульсу струму. В результаті, при одному і тому ж середньому значенні струму, що є корисною складовою в перетворювачах постійної напруги, більше діюче значення імпульсів струму вентилів викликати збільшення складової втрат в елементах ланцюга від такого струму в $\left(\frac{\pi}{2}\right)^2$ рази. [45, 46]

Схеми резонансних ключів на рис.2.3,а забезпечують включення і виключення транзисторів при нульовому струмі, а схеми на рис.2.3,б - включення і виключення транзисторів при нульовій напрузі. Двополюсні

					ДС51.5103.007.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

схеми резонансних ключів на рис.2.3 (ліворуч) прямо замінюють ключі в широтно-імпульсних перетворювачах постійної напруги. Триполюсні схеми резонансних ключів на рис.2.3 (праворуч) замінюють ключі в ШПП так, щоб полюс з ємністю потрапляв на загальну шину живлення або виходу.

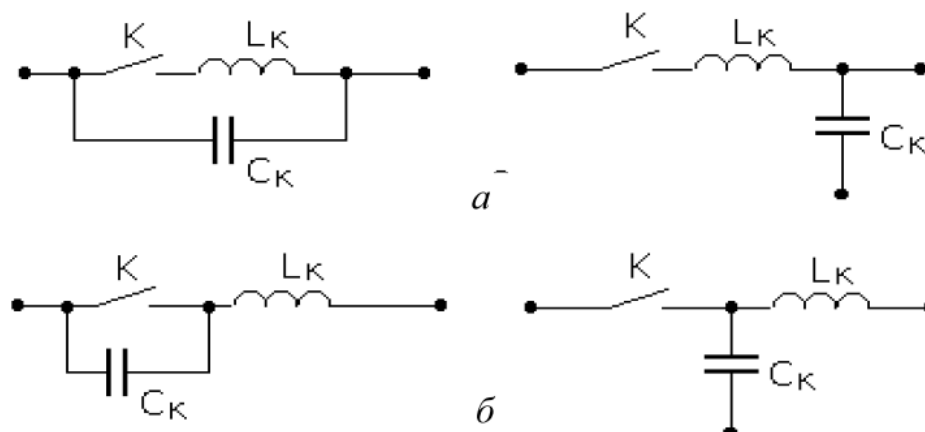


Рис.2.3.

Таким чином, відповідно до двох типів резонансних ключів розрізняють два типи широтно-імпульсних перетворювачів, які отримали відповідно назви:

- квазірезонанні перетворювачі з перемиканням при нульовому струмі (КРІП ПНС);
- квазірезонансні перетворювачі з перемиканням за нульової напруги (КРІП ПНН).

Головною перевагою квазірезонансних перетворювачів, що перемикаються при нульовому струмі перед тими що перемикаються за нульової напруги є те, що діод вмикається і вимикається при нульовій напрузі і нульовому струмі відповідно. У топології ПНС випрямний діод перемикається нульовою напругою, тоді як у топології ПНН випрямний діод перемикається нульовим струмом. Основним недоліком ПНН над ПНС є те, що вони вимагають зміну частоти для регулювання напруги на виході. Це

небажано, оскільки це ускладнює схему управління і генерує небажані гармоніки електромагнітних шумів, особливо при великих навантаженнях.

В схемах з ПНС ключ вимикається при нульовому струмі, але при включенні присутні втрати на зарядку конденсатора, викликані конденсатором резонансного ключа. На рис.2.4 а, б показані типові криві комутації ШПП без і з снаберним колом, відповідно. У топології перетворювача з м'якою комутацією додають LC резонансне коло для формування напруги або струму перемикаючого пристрою у квазісинусоїдальній хвилі таким чином, що створюється нульова напруга або нульовий струм.

Ця методика усуває втрати при включенні або відключенні, пов'язані з накопиченням енергії, що зберігається в конденсаторах паразитного переходу МДН транзистора.

На рис.2.5 а, б зображено типові криві перемикання для ПНН при включенні та ПНС у випадку вимкнення.

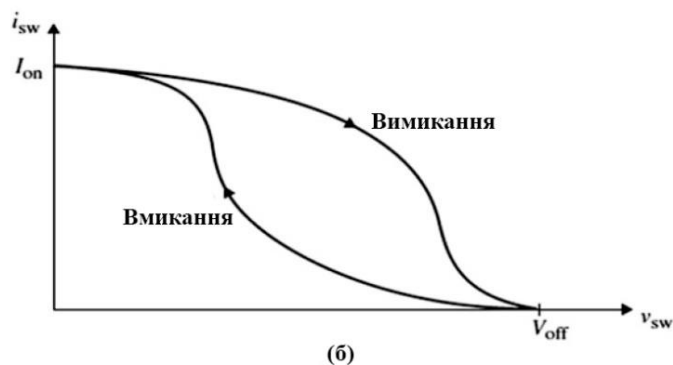
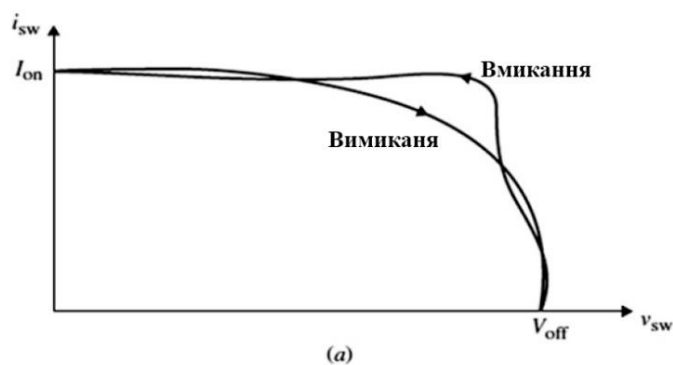


Рис.2.4

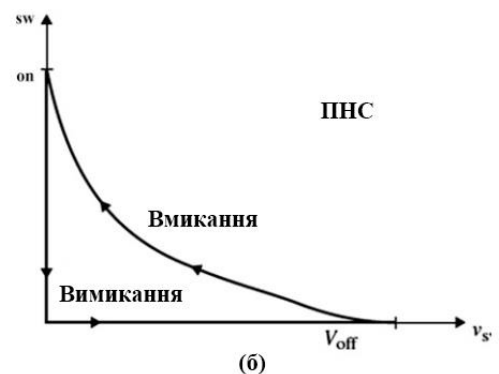
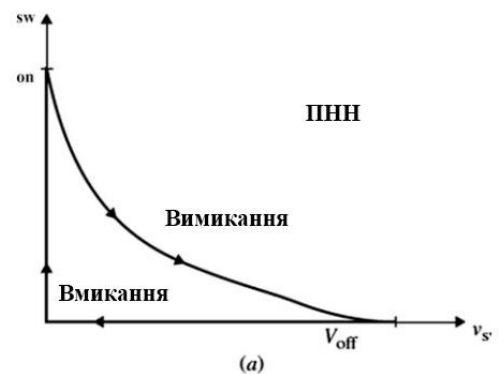


Рис.2.5

Додавши резонансні ключі у вищенаведену схему ШПП (рис. 2.1) отримаємо схему квазірезонансного імпульсного перетворювача підвищуючого типу, що перемикається при нульовому струмі (КРІП ПНС).

Для полегшення виведення формул прийнято вважати, що вхідний струм $I_{in} = const$, і напруга навантаження $V_o = const$, тоді схему квазірезонансного перетворювача (рис.2.6) можливо замінити еквівалентною, показаною на рис.2.7.

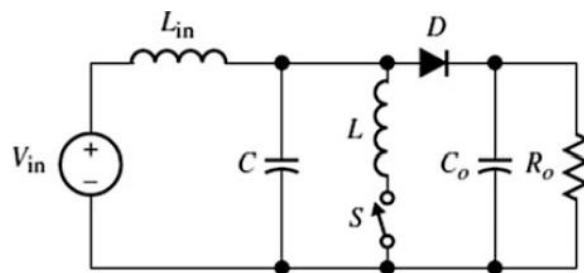


Рис.2.6. Схема КРІП ПНС підвищуючого типу

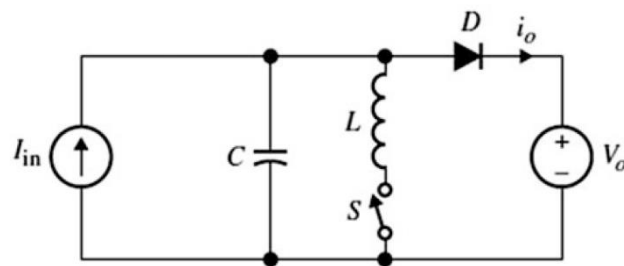


Рис.2.7. Еквівалентна схема КРІП ПНС підвищуючого типу

На рис. 2.8. показані часові діаграми КРІП ПНС підвищуючого типу, а на рис. 2.9 часові діаграми струму, напруги та потужності втрат ПНС .

На рис. 2.10. зображені еквівалентні схеми КРІП ПНС підвищуючого типу для чотирьох режимів роботи.

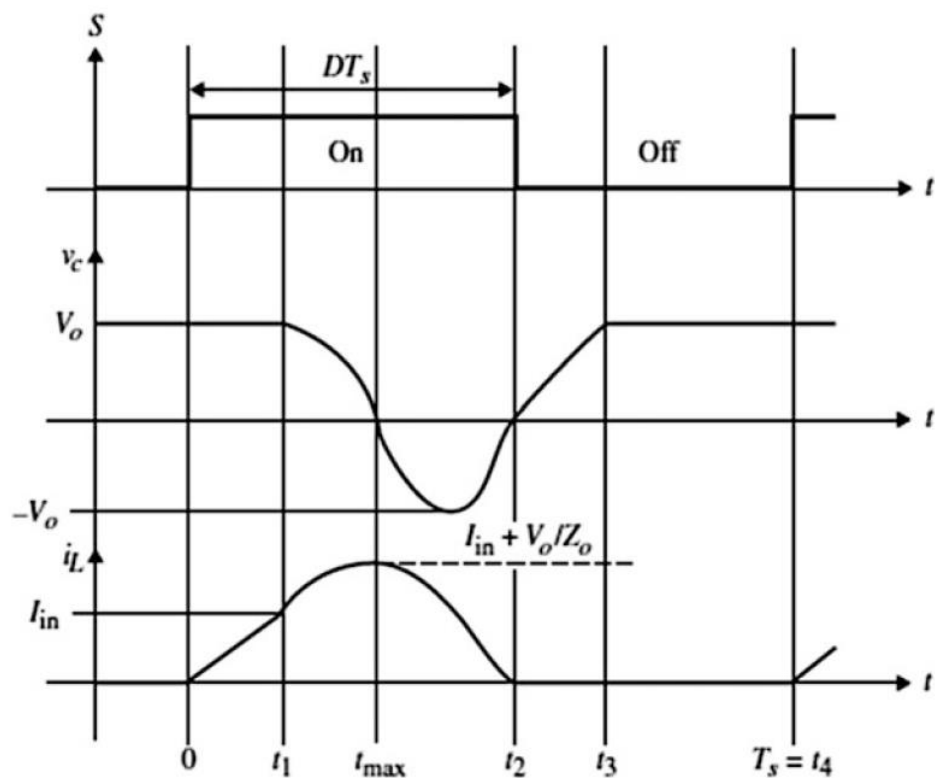


Рис.2.8. Часові діаграми КРП ПНС підвищуючого типу

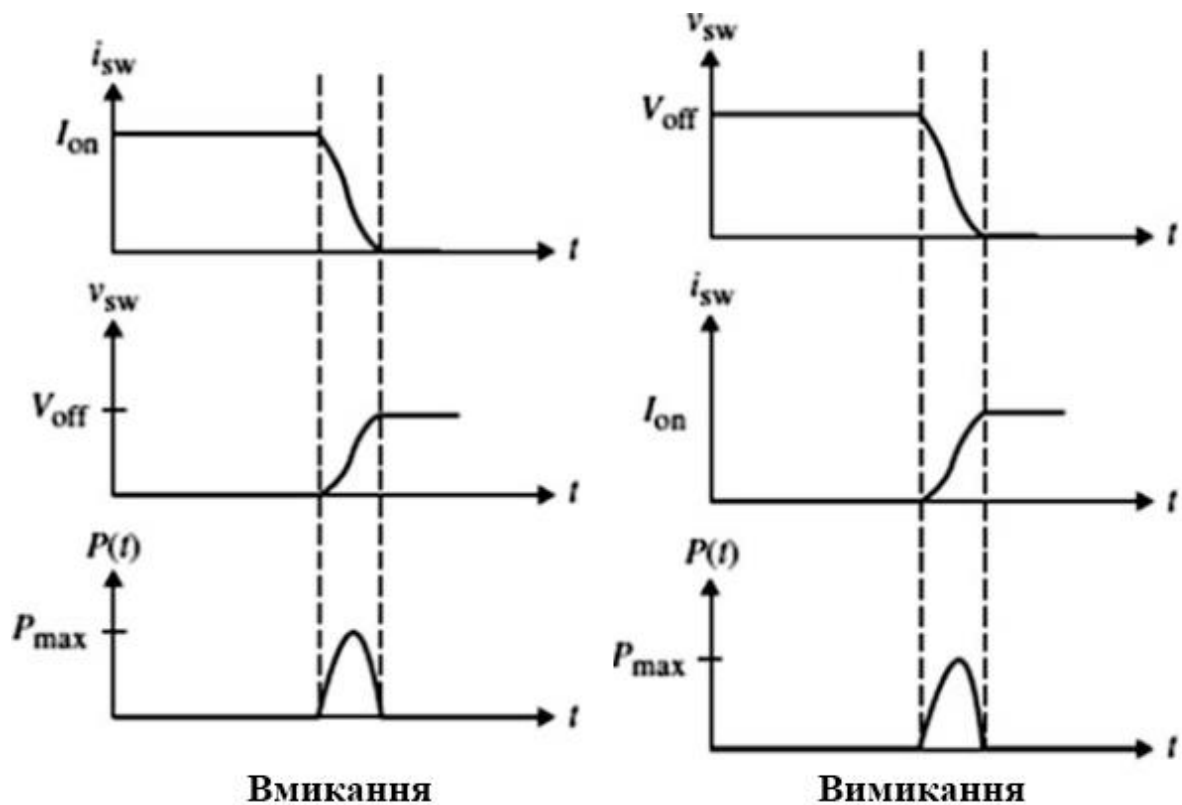


Рис.2.9. Часові діаграми струму, напруги та потужності втрат ПНС

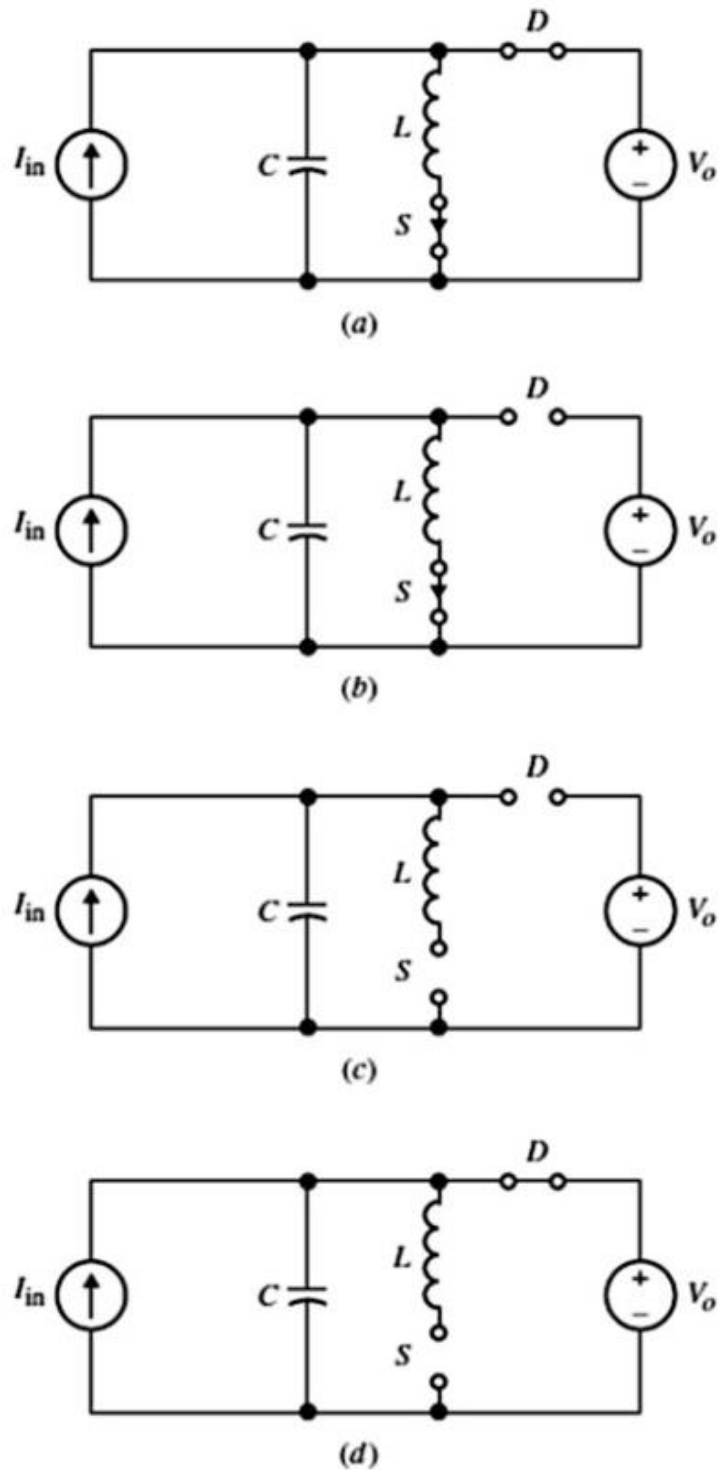


Рис.2.9. Еквівалентні схеми КРП ПНС підвищуючого типу для чотирьох режимів роботи

Режими роботи отриманого перетворювача:

а) $0 \leq t < t_1$

Ключ S та діод в замкнутому стані. Вихідна напруга описується:

$$V_o = L \frac{di_L}{dt}.$$

Початкові значення струму котушки та напруги конденсатора:

$$i_L(0) = 0, v_c(0) = V_o.$$

Проінтегрувавши рівняння вихідної напруги, струм котушки:

$$i_L(t) = \frac{V_o}{L}t + i_L(0) = \frac{V_o}{L}t.$$

Коли струм котушки досягне значення вхідного струму, діод закриється і перетворювач перейде до режиму б.

Вхідний струм:

$$I_{in} = \frac{V_o}{L}t_1.$$

$$b) \quad t_1 \leq t < t_2$$

Ключ S залишається у замкнутому стані, а діод закривається у момент t_1 . Починається резонансний режим, при якому напруга конденсатора починає спадати з початкового значення V_o . Як тільки $i_L = I_{in}$, напруга конденсатора досягне найбільшого негативного значення. У момент часу $t = t_2$, ключ S розмикається, $i_L = 0$ - відбувається комутація за нульового струму.

Початкові умови:

$$i_L(t_1) = I_{in}; v_c(t_1) = V_o.$$

Перші похідні для v_c та i_L :

$$v_c(t) = L \frac{di_L}{dt}; i_L(t) = I_{in} - C \frac{dv_c}{dt}.$$

Розв'язавши диференціальні рівняння першого роду, вирази для $i_L(t)$ та $v_c(t)$ набудуть вигляду:

$$i_L(t) = I_{in} + \frac{V_o}{Z_o} \sin \omega_o(t - t_1);$$

$$v_c(t) = V_o \cos \omega_o(t - t_1), \text{ де } \omega_o = 1/\sqrt{LC}.$$

$$c) \quad t_2 \leq t < t_3.$$

У момент t_2 ключ S та діод у розімкнутому стані, конденсатор починає заряджатися внутрішнім джерелом струму. Напруга конденсатора описується:

$$v_c(t) = \frac{1}{C} \int_{t_2}^t I_{in} dt = \frac{I_{in}}{C} (t - t_2) + v_c(t_2).$$

Діод починає проводити струм у момент $t = t_3$, саме коли напруга конденсатора досягає вихідної напруги

$$v_c(t_3) = V_o = \frac{I_{in}}{C} (t_3 - t_2) + v_c(t_2),$$

тоді часовий інтервал у цей період виразиться наступним чином:

$$t_3 - t_2 = \frac{C}{I_{in}} [V_o - v_c(t_2)].$$

$$d) \quad t_3 \leq t < t_4$$

У момент t_3 напруга конденсатора досягає вихідної, діод знову проводить струм, але ключ S продовжує бути розімкнутим. Це відбуватиметься поки ключ розімкнутий. Як тільки S змінить стан на замкнений, цикл розпочнеться спочатку.[47]

Головною перевагою КРП ПНС перед ПНН є те, що діод вмикається і вимикається при нульовій напрузі і нульовому струмі відповідно. У топології ПНС випрямний діод перемикається нульовою напругою, тоді як у топології ПНН випрямний діод перемикається нульовим струмом. Основним недоліком ПНН над ПНС є те, що вони вимагають зміну частоти для регулювання напруги на виході. Це небажано, оскільки ускладнює схему управління і генерує небажані

гармоніки електромагнітних шумів, особливо при великих навантаженнях.

В схемах з ПНС ключ вимикається при нульовому струмі, але при включенні присутні втрати на зарядку конденсатора, викликані конденсатором резонансного ключа.

Обрано схему КРІП ПНС у зв'язку з рядом переваг визначених при аналізі.

					ДС51.5103.007.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Розділ 3. ДІАГНОСТИКА КВАЗІРЕЗОНАНСНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ПІДВИЩУЮЧОГО ТИПУ, ЩО ПЕРЕМИКАЄТЬСЯ НУЛЬОВИМ СТРУМОМ

У процесі діагностики квазірезонансних перетворювачів дуже важливо попередньо визначитись із контрольними точками та під'єднати до них пристрій збору діагностичної інформації. У цьому розділі зібрано діагностичні показники за допомогою інтерактивного інструменту *SimulinkR2019a*.

Для отримання діагностичної інформації контрольними точками обирають вузли схеми, з яких можливо зібрати найбільшу кількість даних, так як зміни діагностичних певних показників відповідають певні несправності в схемі.

За результатами досліджень [1], про зміни параметрів елементів напівпровідникового перетворювача або про появу його несправностей свідчать зміни форм часових діаграм його струмів та напруг в контрольних точках.

Використовуючи напруги та струми в контрольних точках квазірезонансних перетворювачів як дані для діагностики, необхідно враховувати їх форми, присутність в отриманих сигналах шумів і знати залежність ряду даних на поточний стан діагностованого пристрою. Для вирішення вищезгаданої проблеми у цій роботі в якості діагностичної інформації запропоновано використовувати середні значення струму та напруг у контрольних точках, а також часові діаграми напруг і струмів квазірезонансного перетворювача, оскільки такі дані легко збирати та аналізувати.

3.1. Моделювання перетворювача в середовищі Simulink

Для діагностики перетворювача лише збирати діагностичну інформацію недостатньо, її ще необхідно зберігати та аналізувати шляхом порівняння отриманих даних зі збереженими. Базу діагностичних даних можливо заповнити значеннями, отриманими моделюванням роботи КРПП в різних станах роботи та різновидах несправностей компонентів. У цю базу даних входять часові діаграми струмів і напруг перетворювача та їх середні значення. Під час дослідження роботи реального перетворювача таблиця уточняється, але завдяки моделюванню визначається перелік контрольних точок, в яких варто знімати діагностичні дані, обираються методи аналізу цих даних та визначення стану перетворювача.

Дослідження впливу несправностей у КРПП здійснювалося використовуючи раніше отриману схему з ШПП шляхом додавання до цієї схеми резонансних ключів. Використовуючи схему КРПП ПНС підвищуючого типу (рис.2.6) розроблено віртуальну модель для діагностики перетворювача. Роботу перетворювача описано у розділі 2.

Модель КРПП ПНС та пристрою діагностики (додаток А), реалізовано за допомогою програмного пакету Matlab SimulinkR2019a та зображено на рис. 3.1.

Модель побудовано з використанням джерела постійної напруги V_{IN} - DC Voltage Source, до якого під'єднується квазірезонансний перетворювач на напівпровідниковому ключі - Ideal Switch. Керування відбувається блоком «Схема управління» з використанням ШІМ. В блоці схеми управління задаються такі параметри як амплітуда імпульсів управління, період, коефіцієнт заповнення імпульсів та затримка фази. Блок «Пристрій діагностики» використовується для збору діагностичних даних.

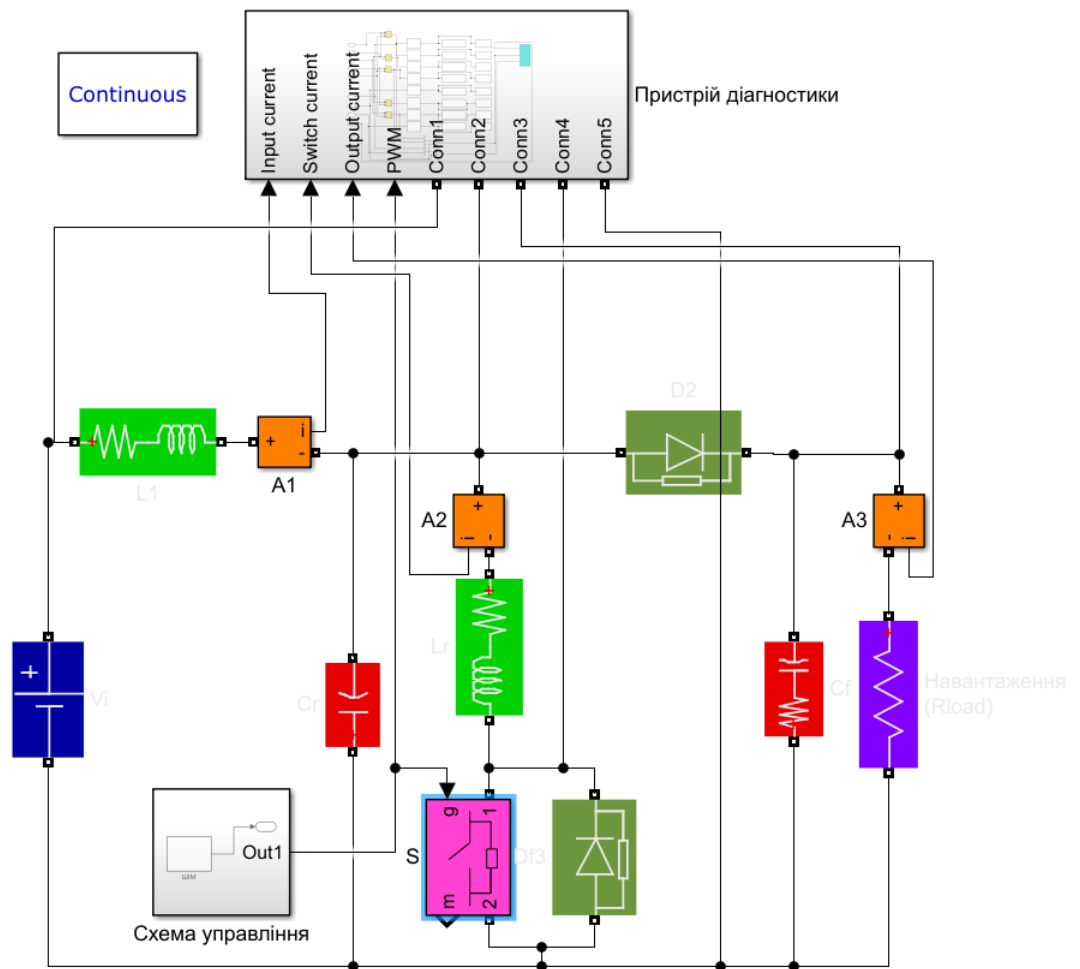


Рис.3.1. Досліджувана модель КРП ПНС

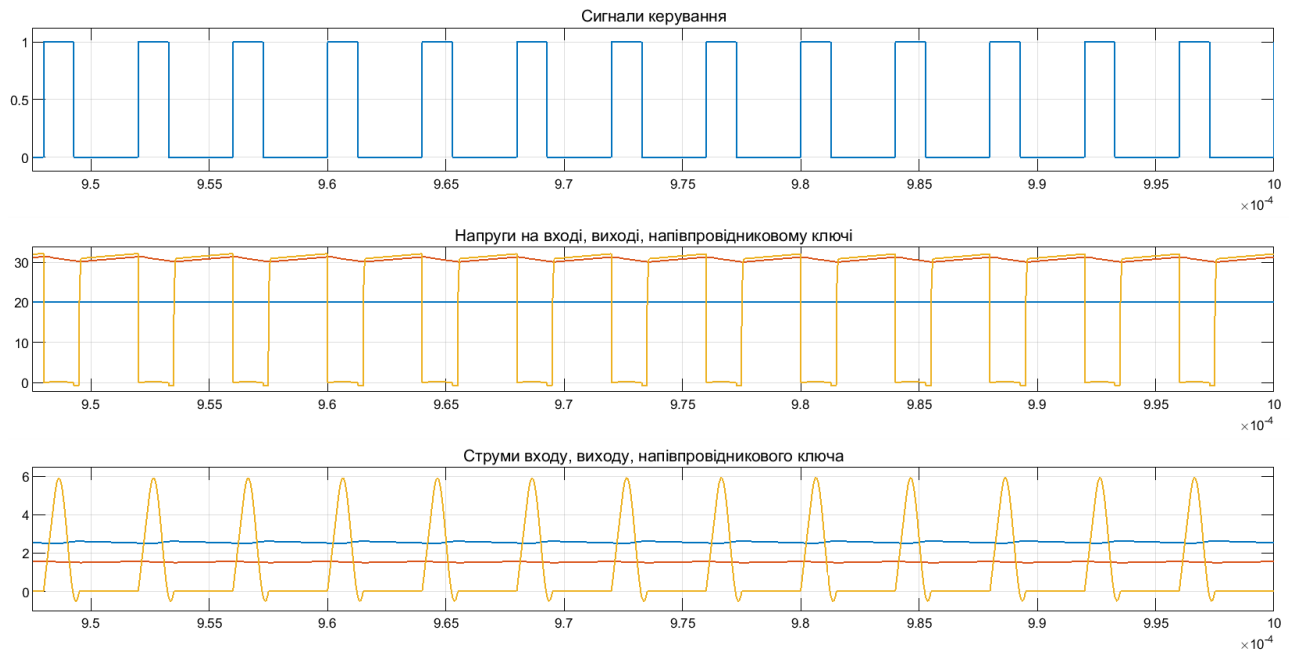


Рис. 3.2. Часові залежності напруг КРП ПНС при номінальних значеннях параметрів елементів

Як номінальні параметри елементів перетворювача в моделі використано такі значення: $V_{IN}=20\text{ В}$; вхідна індуктивність $L_1=322\text{ мкГн}$, ємність фільтра $C_f=2\text{ мкФ}$, резонансні елементи $C_r=18\text{ нФ}$ та $L_r=2,7\text{ мкГн}$ у якості навантаження використано активне навантаження $R_{load}=20\text{ Ом}$.

Часові діаграми знято блоком Scope. Середні значення напруг отримано з використанням блоку Mean. Отримані діаграми (рис.3.2) струмів та напруг досліджуваної схеми, відповідають теоретичним (див. рис. 2.8), що свідчить про відсутність помилок проектування.

ККД перетворювача:

$$\eta = \frac{U_{out} \cdot I_{out}}{U_{in} \cdot I_{in}} \cdot 100\% = \frac{31,044 \cdot 1,552}{20 \cdot 2,555} = 94,3\% .$$

З отриманих часових залежностей видно, що комутація відбувається за нульового струму, а отже схема має високу ефективність, що підтверджено розрахунками. Напруга на навантаженні нижча ніж на ключі у зв'язку із падінням напруги на діоді. Просадки вхідної напруги відсутні, що пояснюється використанням ідеального джерела напруги. Сигнал на виході має пульсуючу неперервну форму, завдяки використанню фільтруючого конденсатора C_f . Амплітуда напруги навантаження вища 30 В, що відповідає поставленим цілям при проектуванні перетворювача підвищуючого типу.

3.2. Дослідження впливу параметрів внутрішніх елементів на роботу перетворювача

В табл. 3.1 наведено посилання на діаграми напруг та струмів перетворювача для досліджуваних станів перетворювача при різних типах несправностей елементів таких як: зміна індуктивності, ємності, опору, обриви та короткі замикання. Середні значення струмів та напруг в контрольних точках схеми для наведених несправностей зведено до табл. 3.2.

					ДС51.5103.007.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Таблиця 3.1.

Стани перетворювача та посилання на їх часові діаграми

Стан	Значення параметрів	Рисунок
В нормі	$Ll=322 \text{ мкГн}$, $Cf=2 \text{ мкФ}$, $Cr=18 \text{ нФ}$, $Lr=2,7 \text{ мкГн}$, $Rload=20 \text{ Ом}$	Рис. 3.2
Зменшення індуктивності Ll	На 10% $\Rightarrow Ll=290 \text{ мкГн}$	Рис. 3.3.а
	На 50% $\Rightarrow Ll=161 \text{ мкГн}$	Рис. 3.3.б
	На 75% $\Rightarrow Ll=81 \text{ мкГн}$	Рис. 3.3.в
	У 1000 разів $\Rightarrow Ll=322 \text{ нГн}$	Рис. 3.3.г
Обрив Ll	—	Рис. 3.4.а
Коротке замикання Ll	—	Рис. 3.4.б
Зменшення ємності Cf	На 10% $\Rightarrow Cf=1,8 \text{ мкФ}$	Рис. 3.5.а
	На 50% $\Rightarrow Cf=1 \text{ мкФ}$	Рис. 3.5.б
	На 75% $\Rightarrow Cf=0,5 \text{ мкФ}$	Рис. 3.5.в
	У 250 разів $\Rightarrow Cf=8 \text{ нФ}$	Рис. 3.5.г
Обрив Cf	—	Рис. 3.6.а
Коротке замикання Cf	—	Рис. 3.6.б
Обрив $D2$	—	Рис. 3.7.а
Коротке замикання $D2$	—	Рис. 3.7.б
Зменшення ємності Cr	На 10% $\Rightarrow Cr=16,2 \text{ нФ}$	Рис. 3.8.а
	На 50% $\Rightarrow Cr=9 \text{ нФ}$	Рис. 3.8.б
	На 75% $\Rightarrow Cr=4,5 \text{ нФ}$	Рис. 3.8.в
	У 250 разів $\Rightarrow Cr=72 \text{ пФ}$	Рис. 3.8.г
Обрив Cr	—	Рис. 3.9.а
Коротке замикання Cr	—	Рис. 3.9.б
Зменшення індуктивності Lr	На 10% $\Rightarrow Lr=2,7 \text{ мкГн}$	Рис. 3.10.а
	На 50% $\Rightarrow Lr=1,5 \text{ мкГн}$	Рис. 3.10.б
	На 75% $\Rightarrow Lr=0,75 \text{ мкГн}$	Рис. 3.10.в
	У 1000 разів $\Rightarrow Lr=3 \text{ нГн}$	Рис. 3.10.г
Обрив Lr	—	Рис. 3.11.а
Коротке замикання Lr	—	Рис. 3.11.б
Зменшення опору Ron МДН транзистора	На 10% $\Rightarrow Ron=49,5 \text{ мОм}$	Рис. 3.12.а
	На 50% $\Rightarrow Ron=27,5 \text{ мОм}$	Рис. 3.12.б
	На 75% $\Rightarrow Ron=13,8 \text{ мОм}$	Рис. 3.12.в
Збільшення опору Ron МДН транзистора	На 10% $\Rightarrow Ron=60,5 \text{ мОм}$	Рис. 3.13.а
	На 50% $\Rightarrow Ron=82,5 \text{ мОм}$	Рис. 3.13.б
	У 25 разів $\Rightarrow Ron=1,375 \text{ Ом}$	Рис. 3.13.в
Обрив МДН транзистора	—	Рис. 3.14.а
Коротке замикання МДН транзистора	—	Рис. 3.14.б
Зменшення опору навантаження	На 10% $\Rightarrow Ron=18 \text{ Ом}$	Рис. 3.15.а
	На 50% $\Rightarrow Ron=10 \text{ Ом}$	Рис. 3.15.б
	На 75% $\Rightarrow Ron=5 \text{ Ом}$	Рис. 3.15.в
	У 250 разів $\Rightarrow Ron=0,1 \text{ Ом}$	Рис. 3.15.г
Збільшення опору навантаження	На 10% $\Rightarrow Ron=22 \text{ Ом}$	Рис. 3.16.а
	На 50% $\Rightarrow Ron=30 \text{ Ом}$	Рис. 3.16.б
	У 25 разів $\Rightarrow Ron=500 \text{ Ом}$	Рис. 3.16.в
Обрив навантаження	—	Рис. 3.17.а
Коротке замикання навантаження	—	Рис. 3.17.б

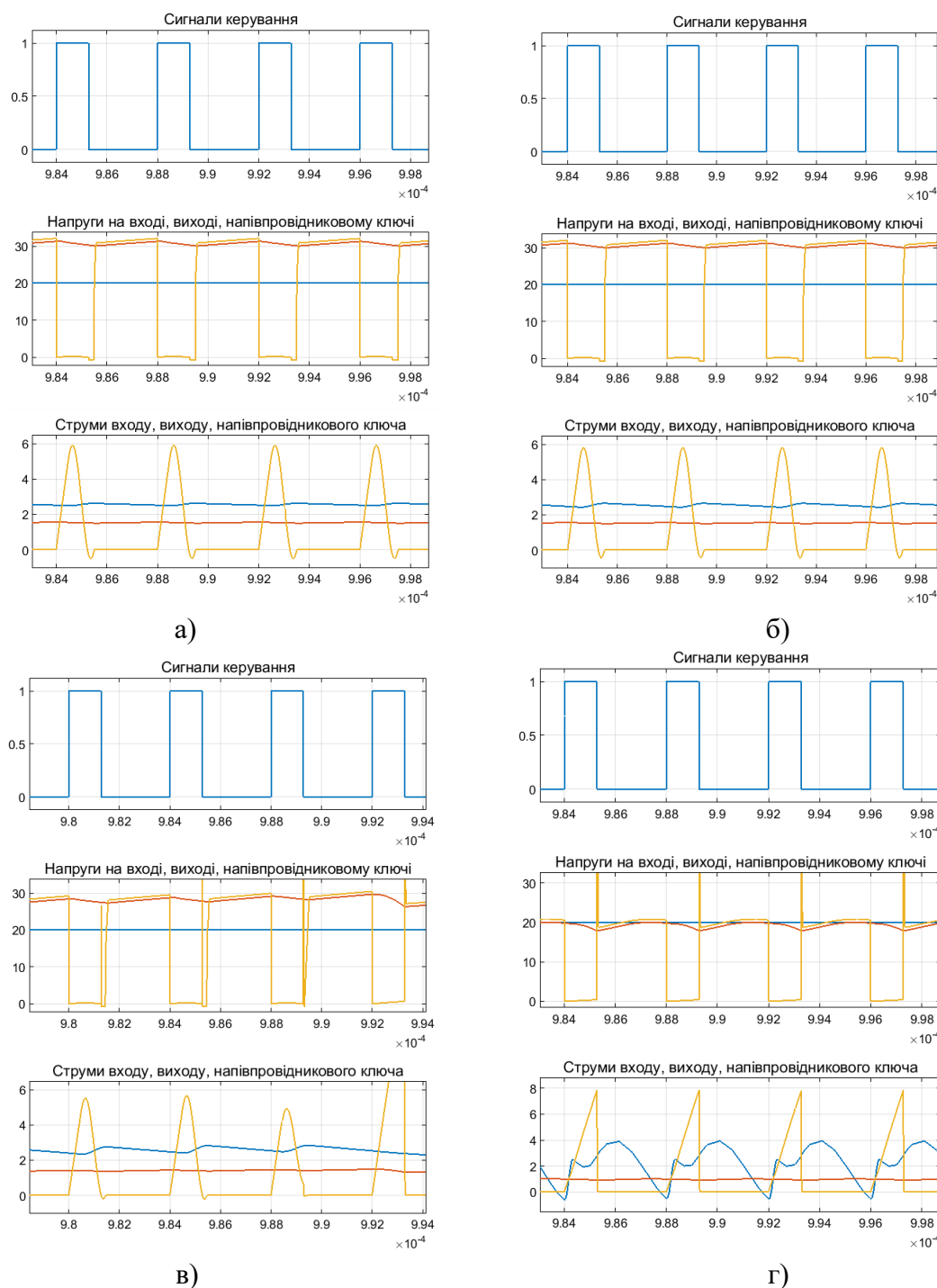


Рис. 3.3. Часові діаграми при зменшенні індуктивності $L1$: $L1=290$ мкГн (а), $L1=161$ мкГн (б), $L1=81$ мкГн (в), $L1=322$ нГн (г)

Зменшення індуктивності $L1$ викликає такі зміни в колі:

- зростають пульсації напруг та струмів;
- нелінійно знижується вихідна напруга;
- виникають викиди у моменти розмикання.

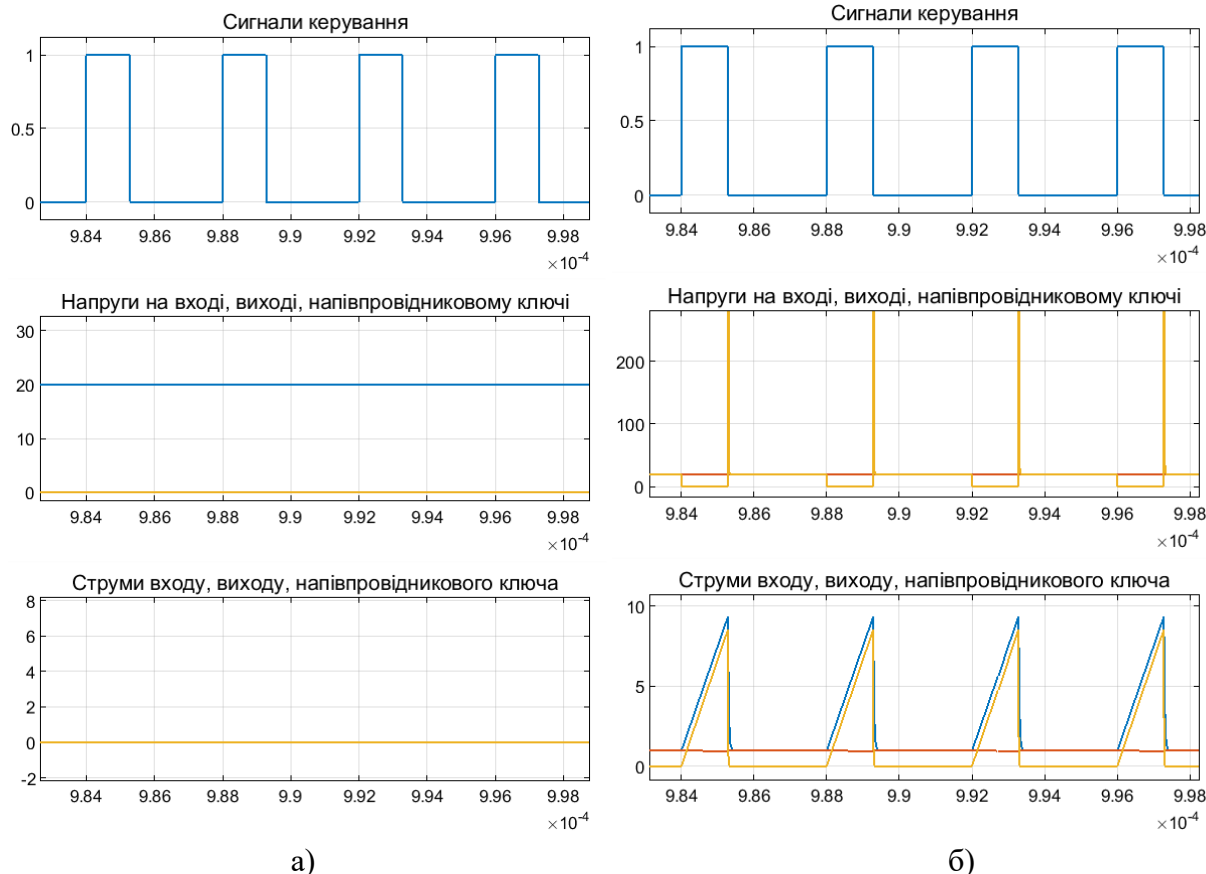


Рис. 3.4. Часові діаграми при обриві (а) та короткому замиканні (б) індуктивності $L1$

Обрив індуктивності $L1$ спричиняє розрив кола живлення, тому середні значення напруг та струмів з таблиці діагностичних даних (табл.3.1) приймають значення нуля, напруга на індуктивності приймає унікальне значення, яке полегшує виявлення несправності. Схема перетворювача не працює, комутація не відбувається.

При короткому замиканні індуктивності $L1$ відбуваються такі зміни:

- зникає підвищення вихідної напруги;
- знижується більше ніж вдвічі струм живлення перетворювача;
- виникають викиди з високими амплітудами у моменти розмикання;
- струми споживання перетворювача та навантаження приймають форму пили;

• напруга на індуктивності резонансного ключа дорівнює нулю, що разом з вищеназваними фактами є унікальною комбінацією і допомагає локалізувати вказану несправність.

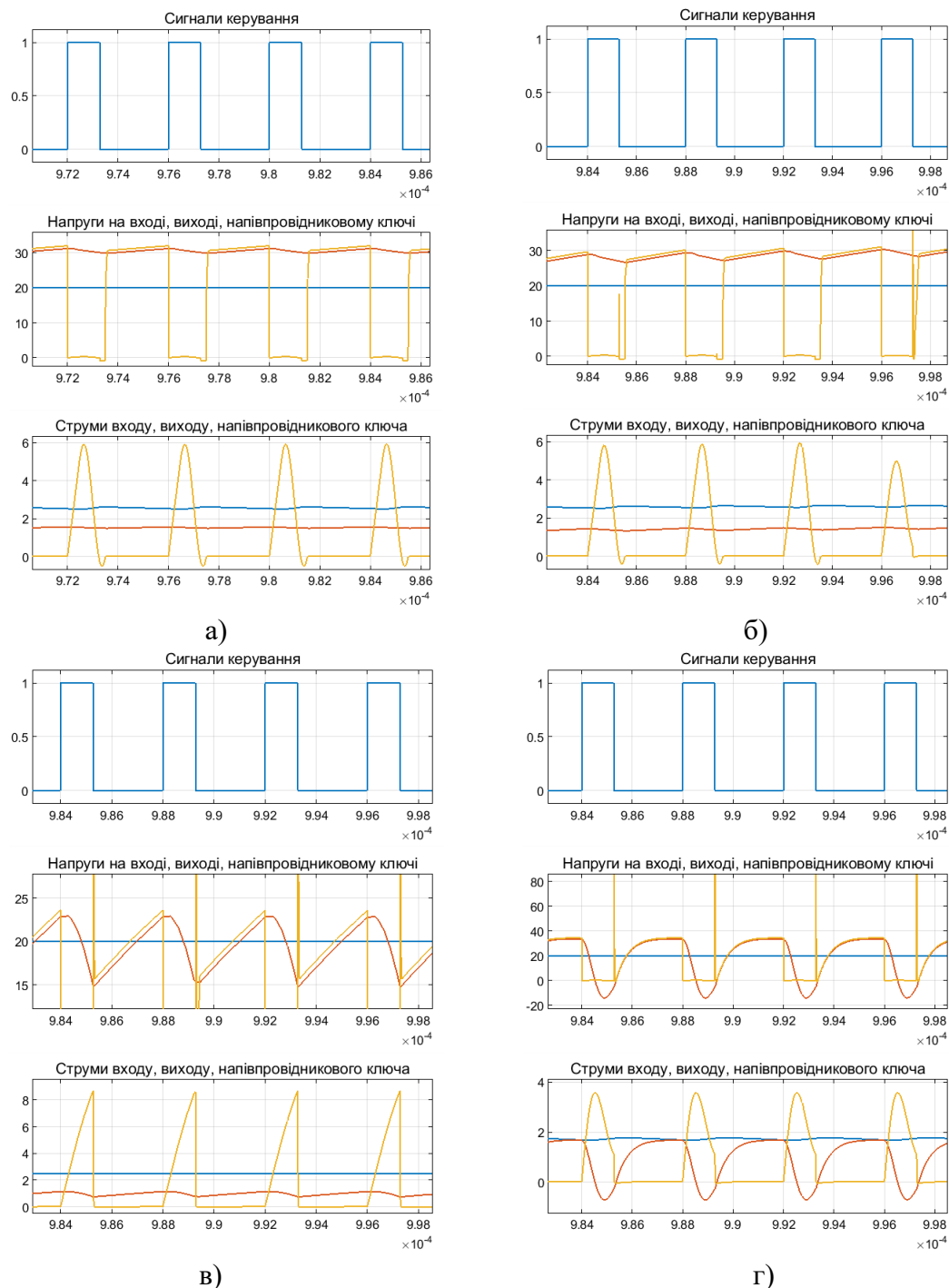


Рис. 3.5. Часові залежності напруг та струмів перетворювача при зменшенні ємності C_f : $C_f=1,8$ мкФ (а), $C_f=1$ мкФ (б), $C_f=0,5$ мкФ (в), $C_f=8$ нФ (г)

Зменшення ємності C_f викликає такі зміни в колі:

- зростають пульсації напруг та струмів на виході;
- нелінійно знижується середнє значення вихідної напруги;
- виникають стрибки напруги у моменти розмикання;
- зростає зворотна ЕРС;
- діапазон значень струму має унікальний характер.

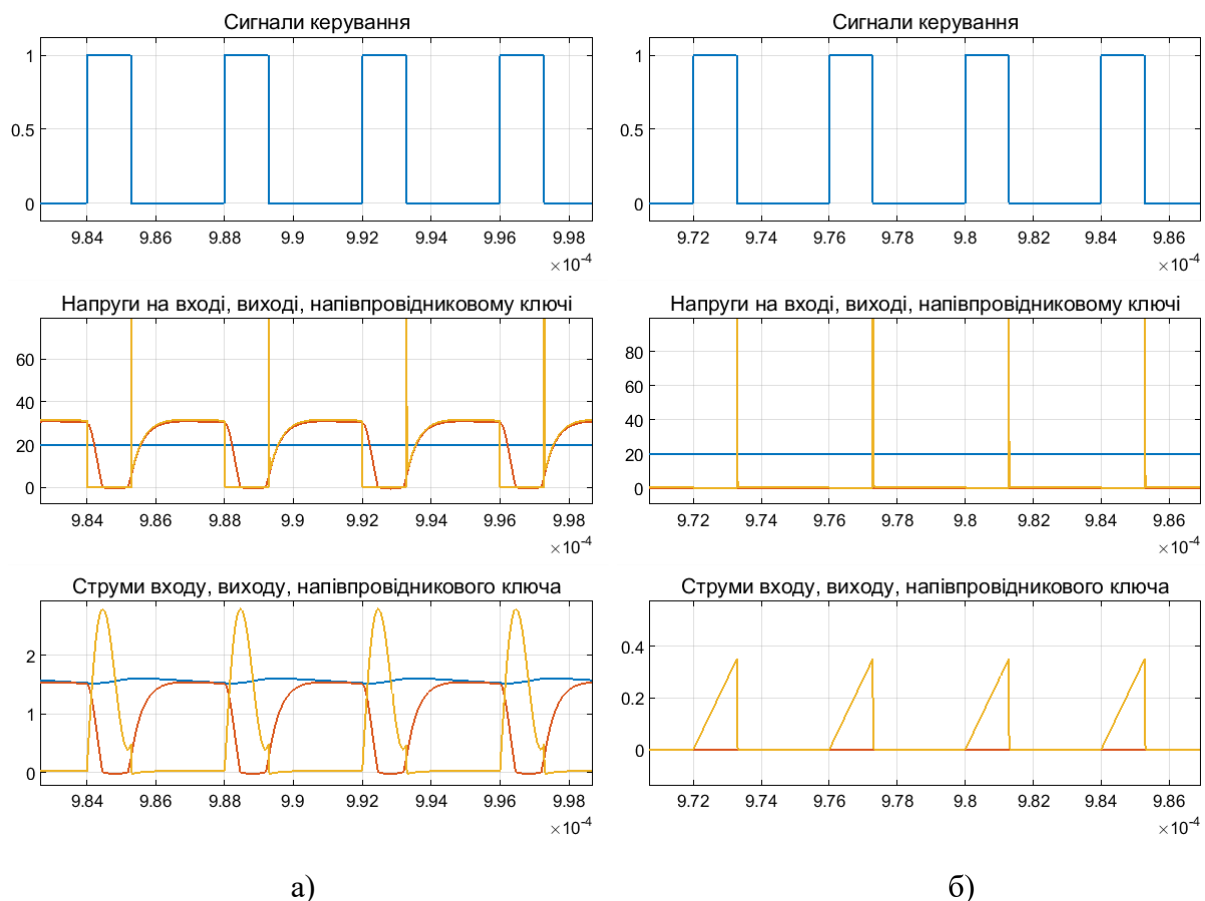


Рис. 3.6. Часові діаграми при обриві (а) та короткому замиканні (б) ємності C_f

Обрив ємності C_f спричиняє зростання пульсацій напруги та зниження середнього значення напруги на виході. Із отриманих діагностичних даних (табл. 3.1) видно, що вихідна потужність перетворювача знизилась у зв'язку зі спаданням середнього значення струму споживання схеми перетворювача.

При короткому замиканні ємності C_f відбуваються такі зміни:

- зникає вихідна напруга;
- виникають викиди з високими амплітудами у моменти розмикання;
- струми та напруги ключа нульового значення;

- струм споживання сягає максимально можливих значень струму джерела живлення;
- середнє значення напруги на індуктивності $L1$ приймає унікальне значення у -19 В, що надалі знадобиться при діагностиці несправностей перетворювача.

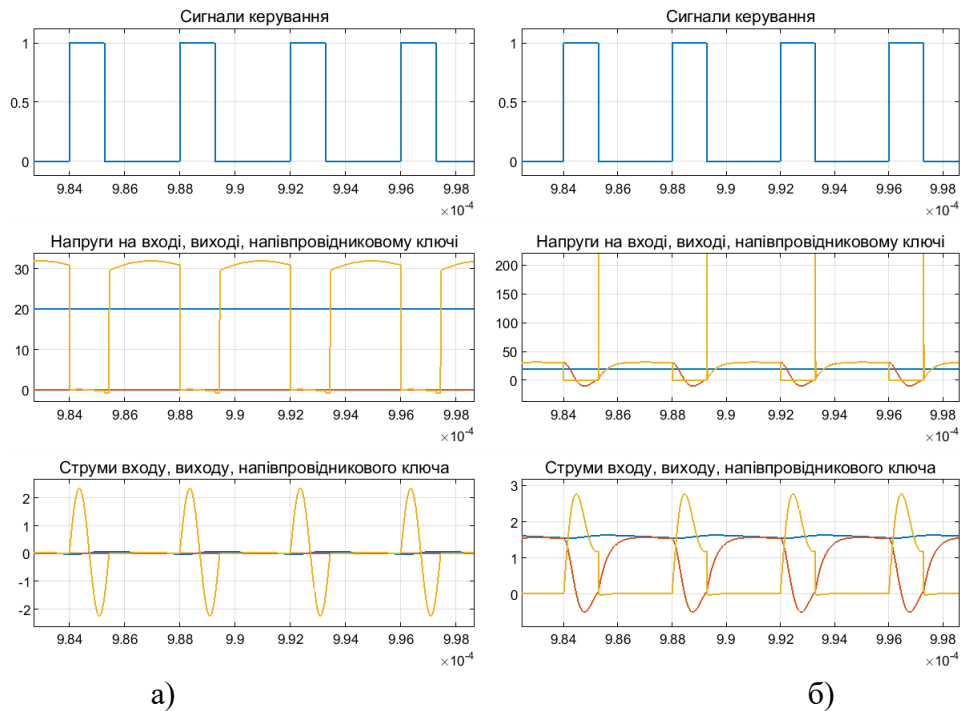


Рис. 3.7. Часові діаграми напруг та струмів перетворювача при обриві (а) та при короткому замиканні $D2$ (б)

Обрив діода $D2$ спричиняє зростання пульсацій напруги та зниження середнього значення напруги на виході. За такої несправності перетворювач працює в аварійному режимі, а отже з низькою ефективністю. Отримані дані дуже близькі до даних при обриві конденсатора, тому діагностика лише за таблицею середніх значень вкаже на обрив Cf або $D2$. Для уточнення результатів необхідно порівнювати отримані форми часових діаграм напруг та струмів в контрольних точках перетворювача із теоретичними для вказаних елементів (рис.3.6 (а) та рис.3.7 (а)).

При короткому замиканні $D2$ відбуваються такі зміни:

- зникає вихідна напруга;
- практично зникає струм споживання перетворювача;

- виникають викиди з високими амплітудами у моменти розмикання;
- струми та напруги ключа нульового значення.

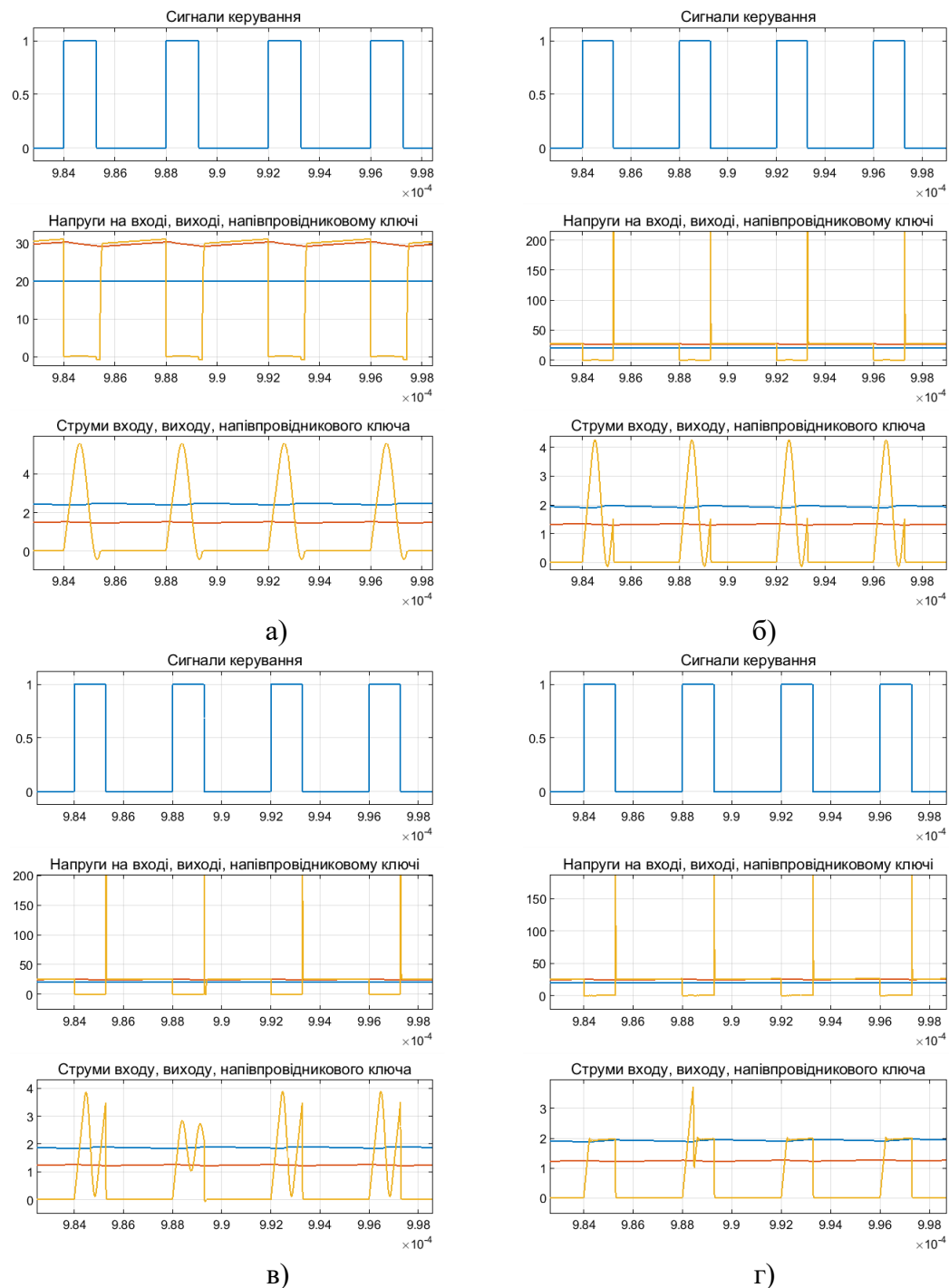
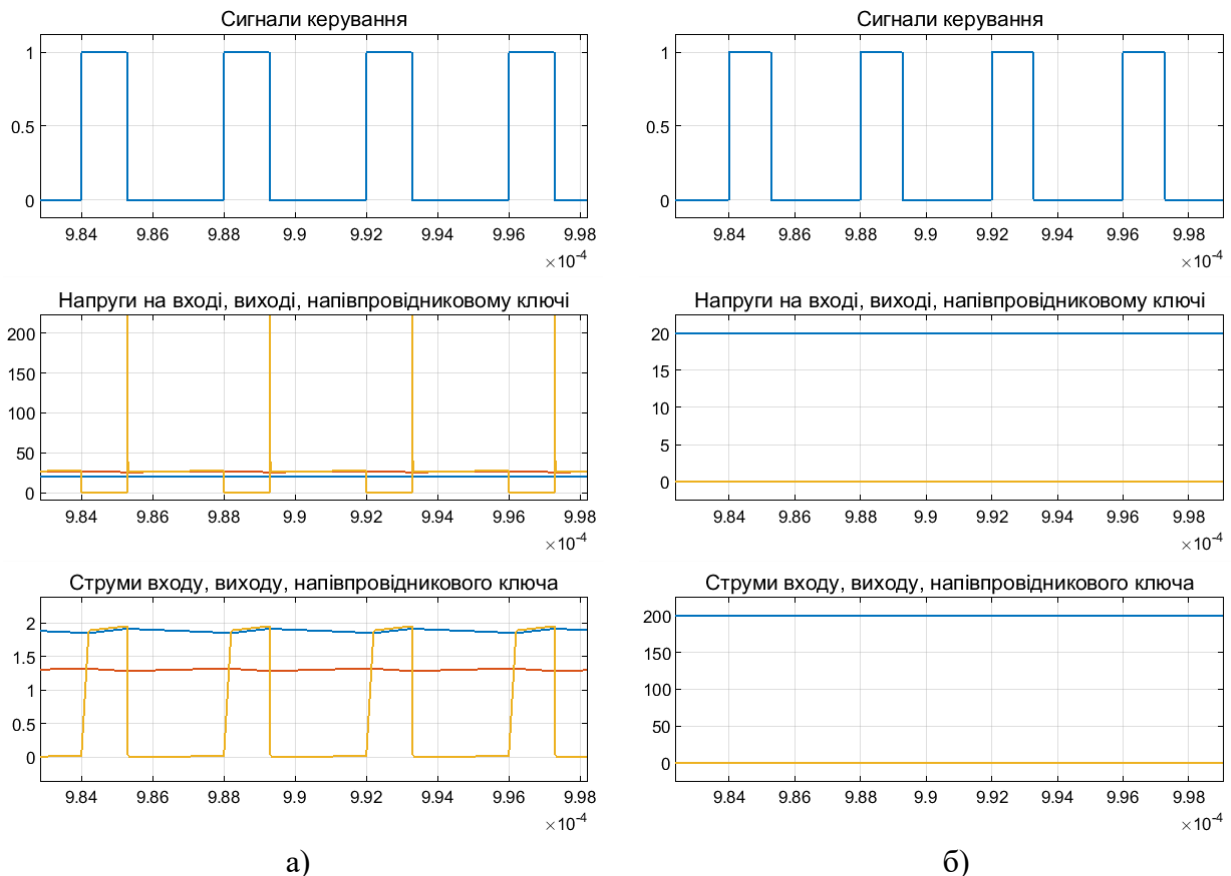


Рис. 3.8. Часові залежності напруг перетворювача при зменшенні ємності C_r :
 $C_r=16,2$ нФ (а), $C_r=9$ нФ (б), $C_r=4,5$ нФ (в), $C_{f1}=72$ пФ (г)

Зменшення ємності резонансного елемента C_r викликає такі зміни в колі:

- зростають пульсації напруг та струмів на виході;
- знижується ефективність перетворювача;
- виникають стрибки напруги у моменти розмикання;
- зривається м'яка комутація;
- знижується вихідна напруга перетворювача.



а) б)
Рис. 3.9. Часові діаграми напруг та струмів перетворювача при обриві (а) та при короткому замиканні C_r (б)

Обрив конденсатора C_r спричиняє зростання пульсацій та зниження середнього значення напруги на виході. Така несправність призводить до змін роботи перетворювача і він працюватиме так як ШПІ зі зниженою ефективністю.

При короткому замиканні C_r відбуваються такі зміни:

- зникають напруги в контрольних точках (окрім $L1$);
- струм споживання перетворювача сягає максимально можливих значень струму джерела живлення;

- напруга на вказаному елементі нульового значення;
- середнє значення напруги на індуктивності L_I приймає унікальне значення $-U_{in}$, що пов'язано із вибором контрольних точок та методикою вимірювання та властивостями котушок індуктивності за постійної напруги.

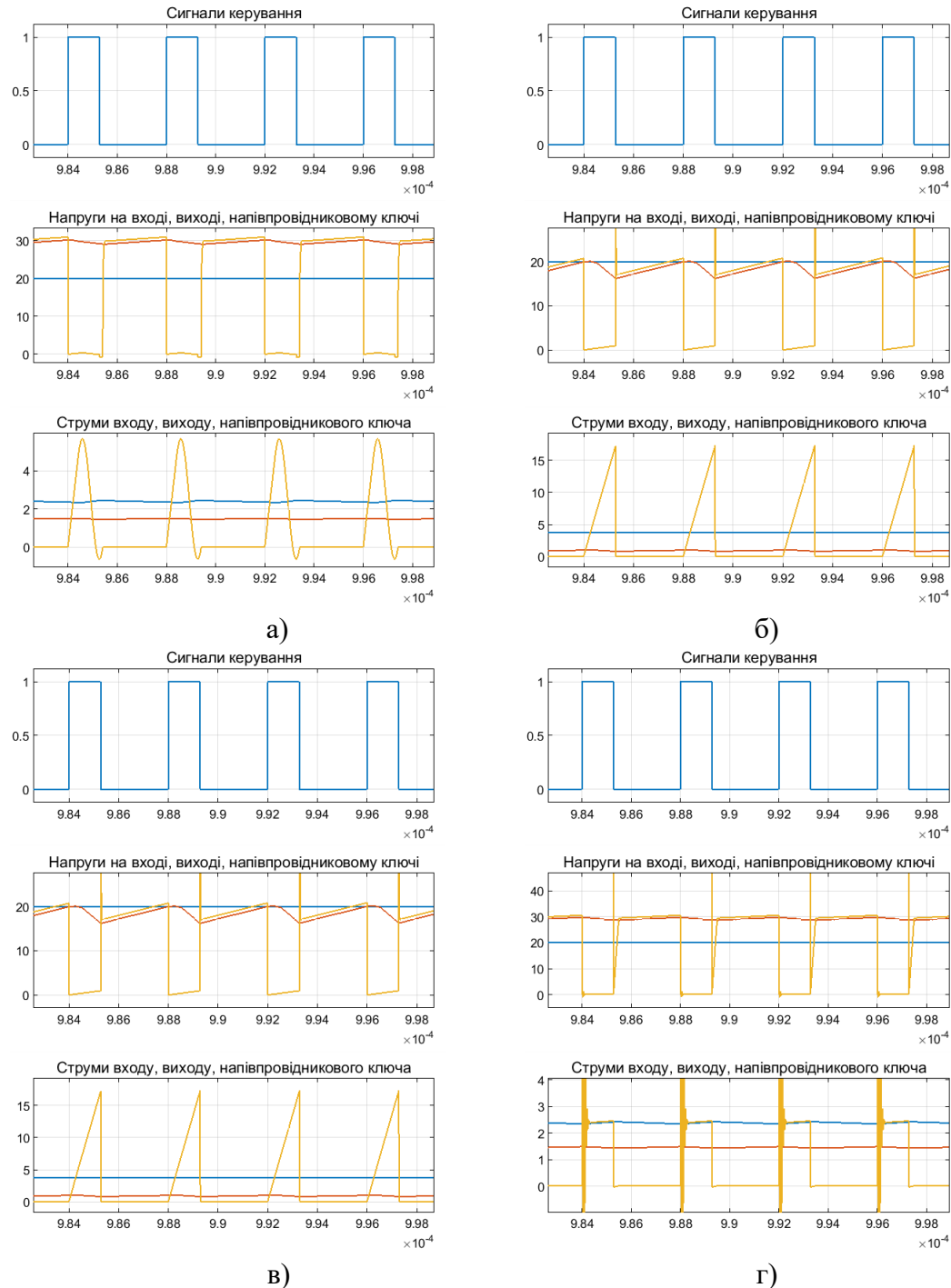


Рис. 3.10. Часові діаграми при зменшенні індуктивності L_r : $L_r=2,7$ мкГн (а), $L_r=1,5$ мкГн (б), $L_r=0,75$ мкГн (в), $L_r=3$ нГн (г)

Зменшення індуктивності резонансного елемента Lr викликає такі зміни в колі:

- знижуються середні значення напруг на виході перетворювача;
- знижується ефективність перетворювача;
- зривається м'яка комутація.

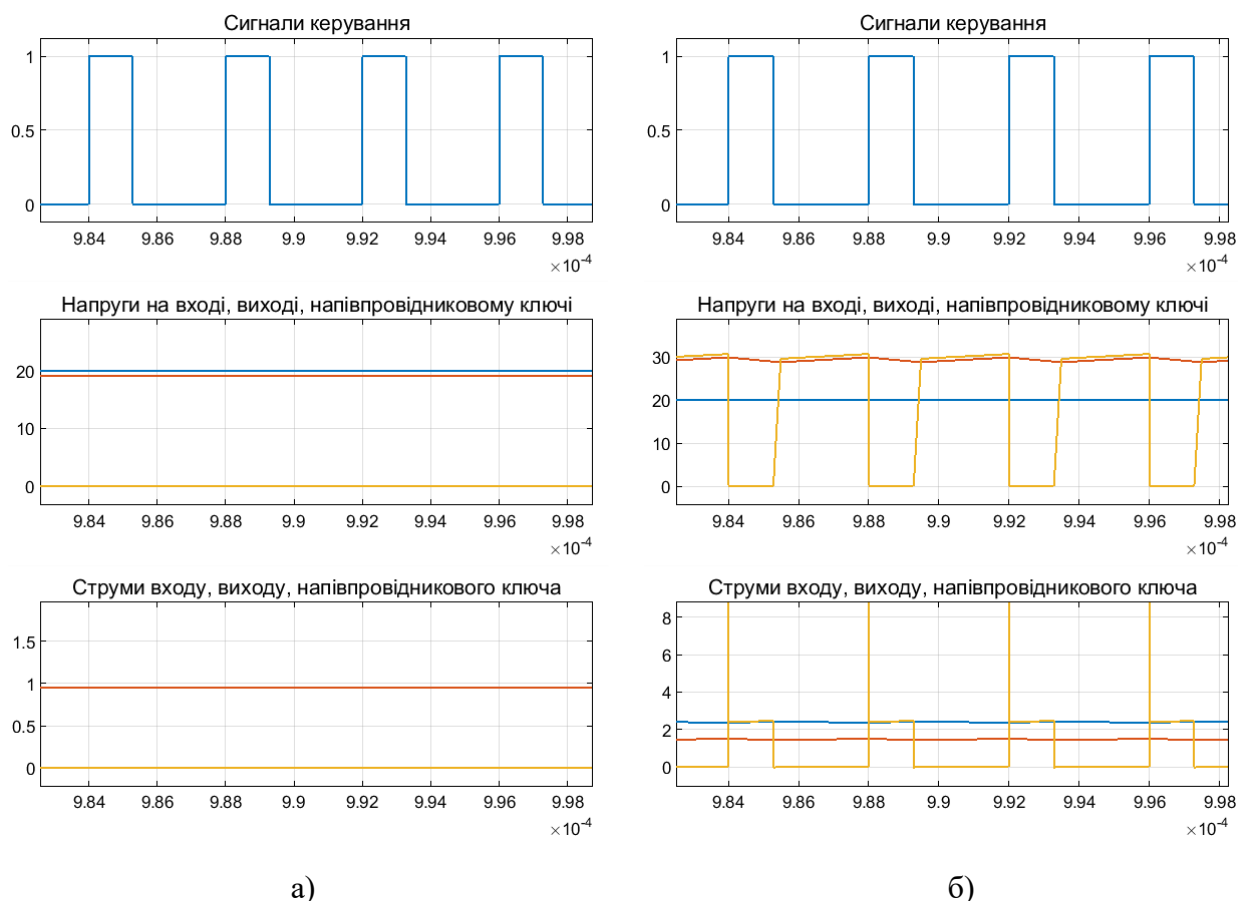
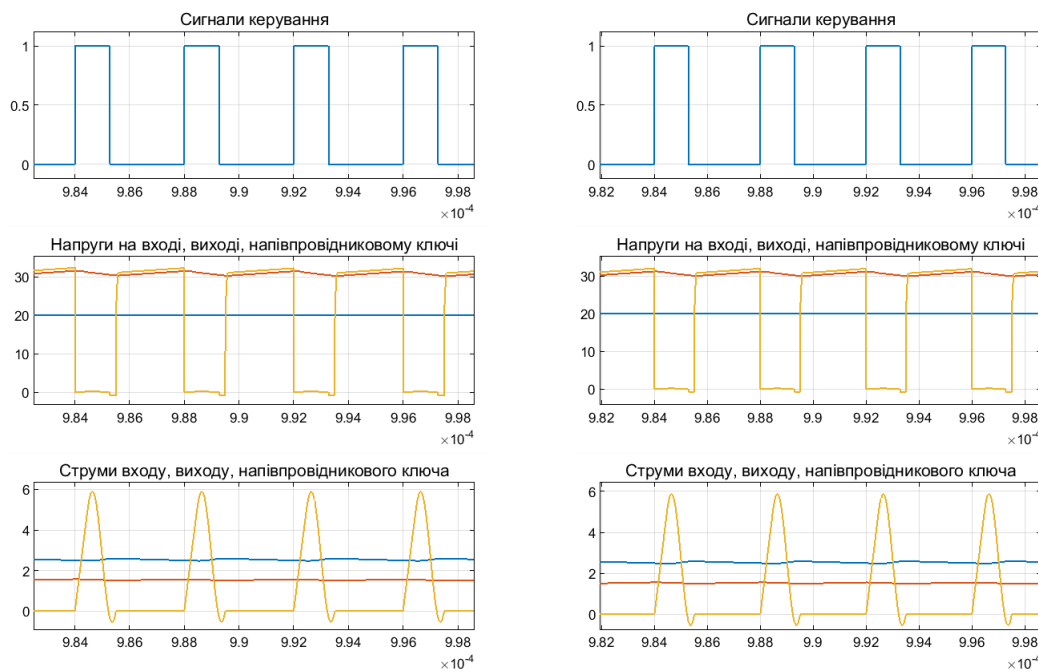


Рис. 3.11. Часові діаграми напруг та струмів перетворювача при обриві (а) та при короткому замиканні Lr (б)

Обрив котушки індуктивності Lr спричиняє зниження середнього значення напруги на виході, відсутності пульсацій. Це пов'язано з тим, що котушку підключено послідовно із ключем, тому перехідні процеси не відбуваються, а на виході перетворювача присутня напруга нижча за напругу джерела живлення у зв'язку із її падінням на діоді та неідеальних елементах кола. Несправність може призвести до виходу з ладу діода тому що він працює в режимі безперервного струму (можливий перегрів).

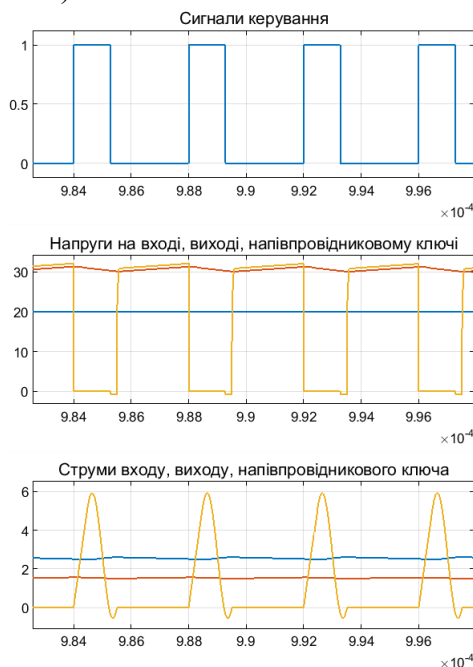
При короткому замиканні Lr відбуваються такі зміни:

- знижуються середні значення напруг на виході перетворювача;
- зривається м'яка комутація;
- напруга на вказаному елементі нульового значення;
- присутні стрибки струму в моменти комутації;
- КРП ПНС працює як ШПІ.



а)

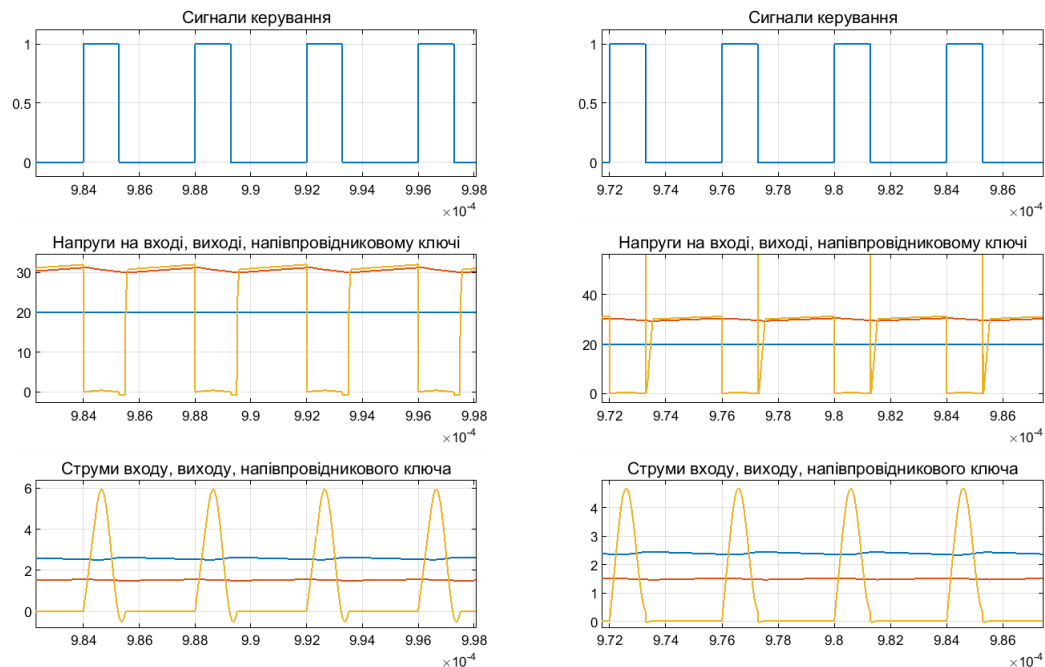
б)



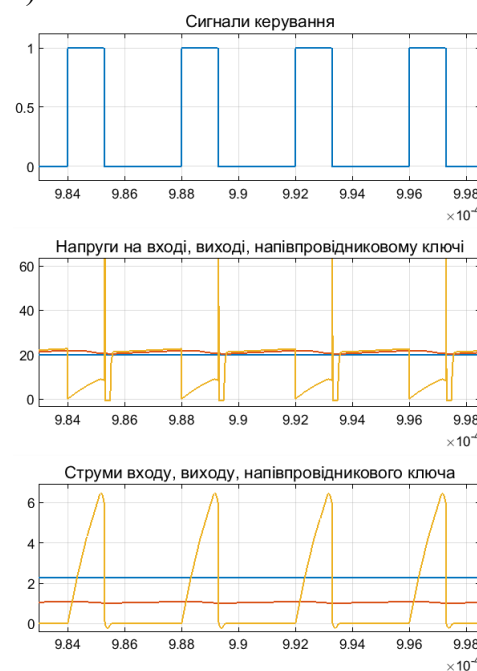
в)

Рис. 3.12. Часові залежності напруг та струмів перетворювача при зменшенні опору ключового елемента: $R_{on} = 49,5 \text{ мОм}$ (а), $R_{on} = 27,5 \text{ мОм}$ (б), $R_{on} = 13,8 \text{ мОм}$ (в)

Зменшення опору ключа не викликає аварійних режимів роботи перетворювача так як зменшення опору є позитивною тенденцією в розвитку електроніки. За таких змін лише зростає ефективність перетворювача, тому вказану несправність виявляти не варто і не має сенсу.



а) б)



в)

Рис. 3.13. Часові залежності напруг та струмів перетворювача при збільшенні опору ключового елемента:

$$R_{on}=60,5 \text{ мОм (а), } R_{on}=82,5 \text{ мОм (б), } R_{on}=1,38 \text{ Ом (в)}$$

У зображених на рис.3.13 часових діаграмах збільшення опору ключа викликає такі зміни в колі:

- знижуються середні значення напруг на виході перетворювача;
- знижується ефективність перетворювача;
- відбуваються стрибки напруги в моменти комутації.

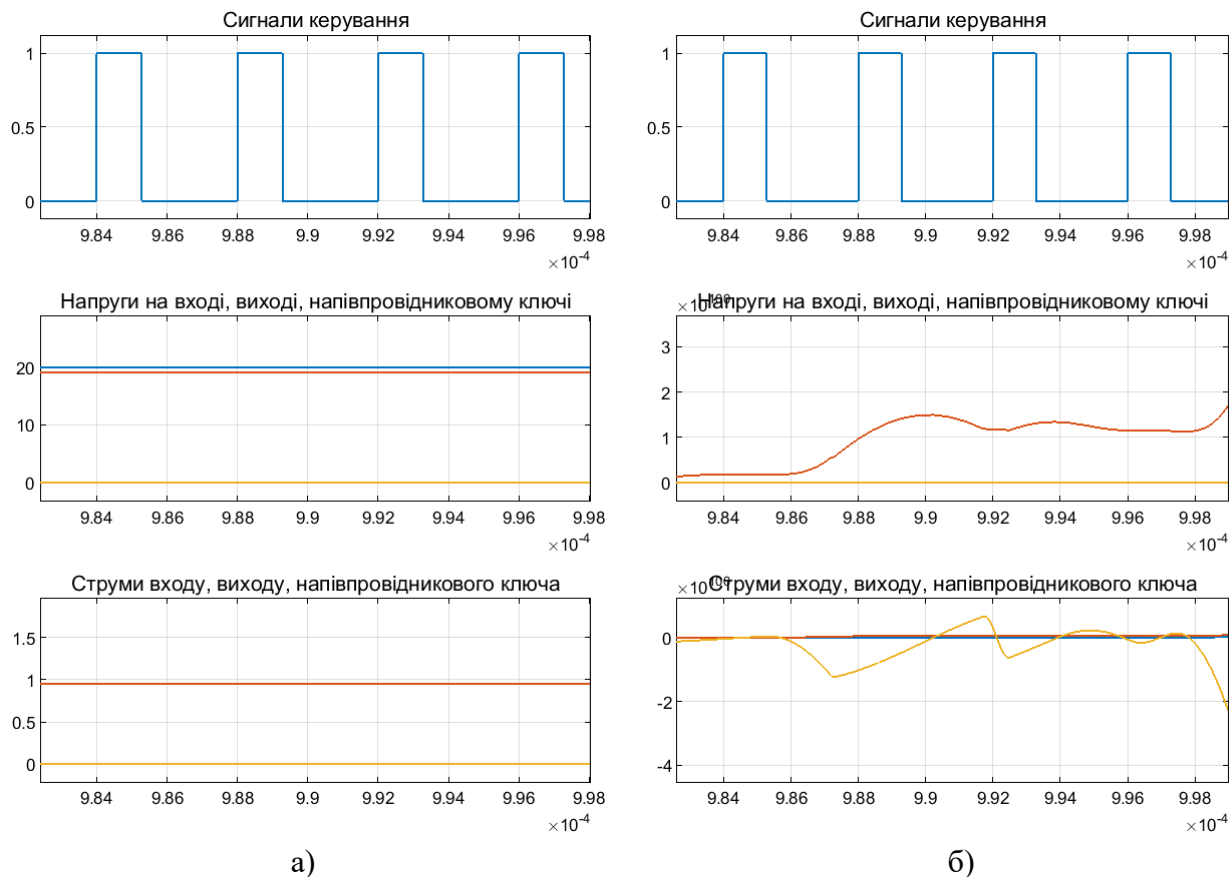


Рис. 3.14. Часові діаграми напруг та струмів перетворювача при обриві (а) та при короткому замиканні (б) силового ключа

Обрив силового ключа призводить до повного виходу з ладу перетворювача. На виході перетворювача напруга нижча за напругу джерела живлення у зв'язку із її падінням на діоді та неідеальних елементах кола. Несправність може призвести до виходу з ладу діода тому що він працює в режимі безперервного струму (можливий перегрів).

При короткому замиканні силового ключа відбуваються такі зміни:

- напруга на вказаному елементі нульового значення;
- струм споживання перетворювача сягає максимально можливих значень струму джерела живлення;
- відсутній струм через навантаження;

- на часових діаграмах спостерігаються складно прогнозовані перехідні процеси, зумовлені нагрівом елементів схеми та зміною їх параметрів;
- напруга на котушці L1 набуває нульового значення, що є унікальним ідентифікуючим параметром.

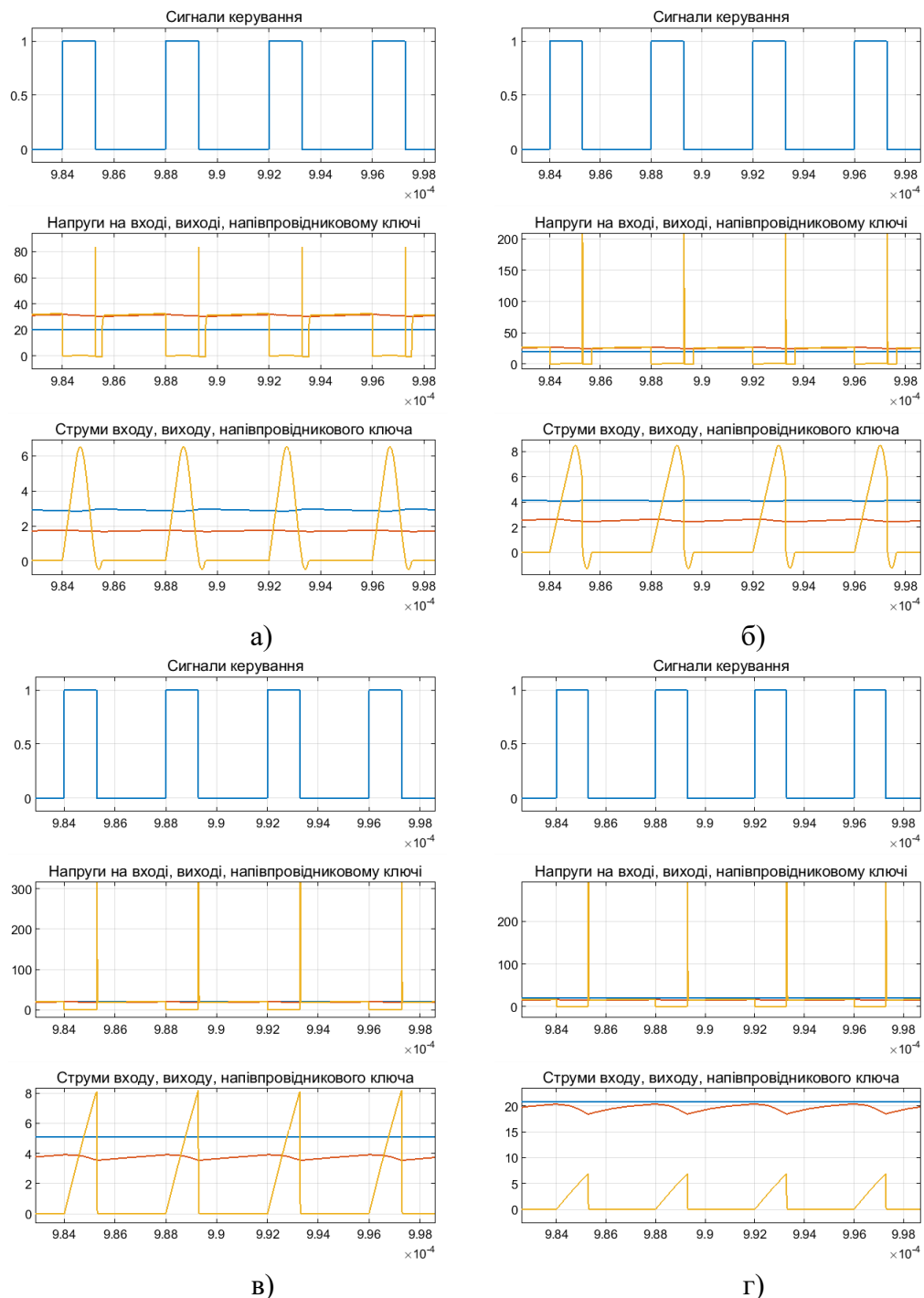
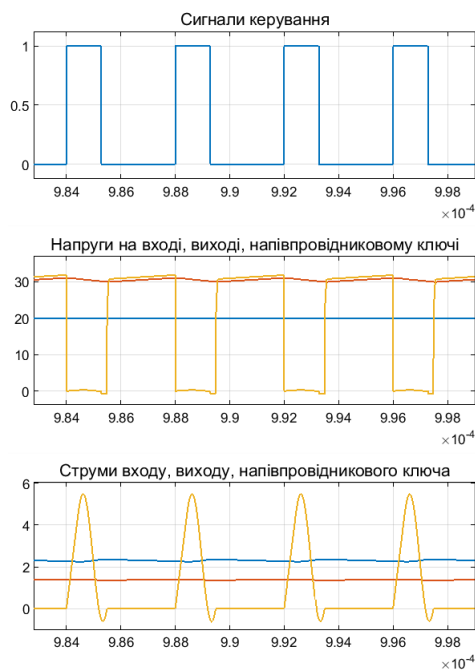


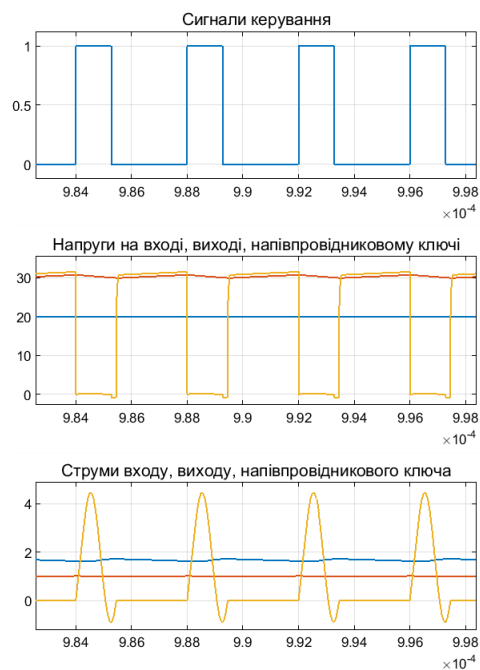
Рис. 3.15. Часові залежності напруг та струмів перетворювача при зменшенні опору навантаження: $R_{load}=18$ Ом (а), $R_{load}=10$ Ом (б), $R_{load}=5$ Ом (в), $R_{load}=0,1$ Ом (г)

Зменшення опору навантаження викликає такі зміни в колі:

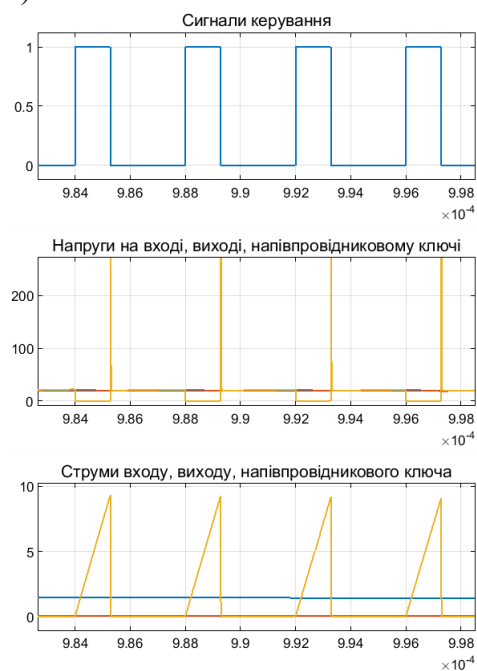
- знижуються середні значення напруг на виході перетворювача;
- знижується ефективність перетворювача;
- з'являються вищі гармоніки напруги у моменти розмикання;
- зривається м'яка комутація;
- виникають стрибки напруги у моменти розмикання.



а)



б)



в)

Рис. 3.16. Часові залежності напруг та струмів перетворювача при збільшенні опору навантаження: $R_{load}=22\text{ Ом}$ (а), $R_{load}=30\text{ Ом}$ (б), $R_{load}=500\text{ Ом}$ (в)

Збільшення опору навантаження викликає такі зміни в колі:

- знижуються середні значення напруг на виході перетворювача;
- зривається м'яка комутація;
- виникають викиди напруги у моменти розмикання.

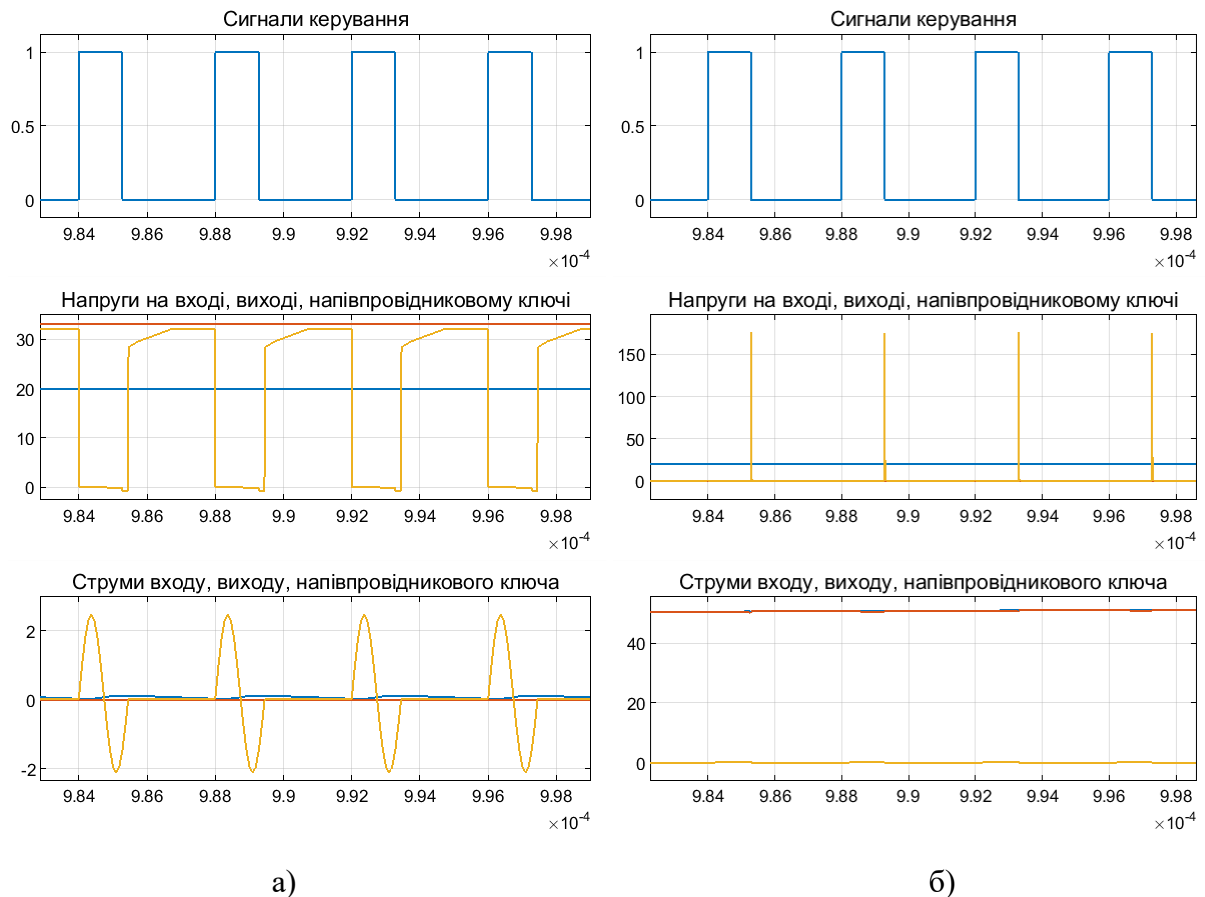


Рис. 3.17. Часові діаграми напруг та струмів перетворювача при обриві (а) та при короткому замиканні (б) навантаження

Обрив навантаження не призводить виходу з ладу перетворювача. Не відбувається м'яка комутація, знижується струм споживання. На виході перетворювача формується напруга вища за еталонну, внесену до табл. 3.1, що дозволяє беззаперечно локалізувати несправність.

При короткому замиканні навантаження відбуваються такі зміни:

- напруга на виході нульового значення;

- струм споживання перетворювача сягає максимально можливих значень струму джерела живлення;
- зривається м'яка комутація;
- виникають викиди напруги в моменти комутації;
- струм силового ключа дорівнює нулю;
- напруга на котушці $L1$ набуває унікального значення, що є ідентифікуючим параметром несправності.

Середні значення параметрів для розглянутих випадків наведено в табл.

3.2.

Таблиця 3.2

Отримані діагностичні дані

Стан	Значення	I_{in} , A	U_{out} , B	I_{out} , A	U_{sw} , B	I_{sw} , A	U_{L1} , B	U_{Lr} , B
В нормі	—	2,555	31,044	1,552	31,841	0,025	11,846	0,005
Зменшення індуктивності $L1$	2,90E-04	2,539	31,118	1,556	31,916	0,025	11,921	0,005
	1,61E-04	2,515	30,966	1,548	31,764	0,024	11,768	0,005
	8,05E-05	2,300	27,213	1,361	28,011	0,017	8,015	0,004
	3,22E-07	1,093	19,943	0,997	20,743	0,002	0,744	0,000
Обрив $L1$	—	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-20,00	0,000
КЗ $L1$	—	0,960	19,189	0,959	19,990	0,000	-0,010	0,000
Зменшення ємності Cf	1,80E-06	2,583	30,484	1,524	31,281	0,024	11,286	0,005
	1,00E-06	2,620	30,059	1,503	30,854	0,023	10,862	0,008
	5,00E-07	2,486	20,932	1,047	21,718	0,004	1,735	0,017
	8,00E-09	1,717	33,308	1,665	34,102	0,029	14,110	0,008
Обрив Cf	—	1,552	30,700	1,535	31,502	0,024	11,502	0,000
КЗ Cf	—	51,156	0,000	0,000	0,851	0,000	-19,15	0,000
Обрив $D2$	—	1,578	31,215	1,561	31,216	0,023	11,215	0,000
КЗ $D2$	—	0,009	0,000	0,000	31,633	0,023	11,630	-0,003
Зменшення ємності Cr	1,62E-08	2,416	30,288	1,514	31,086	0,023	11,090	0,004
	9,00E-09	1,930	26,682	1,334	27,481	0,016	7,484	0,003
	4,50E-09	1,858	25,071	1,254	25,870	0,012	5,873	0,003

	7,20E-11	1,931	25,522	1,276	26,321	0,013	6,324	0,003
Обрив C_r	—	1,871	26,256	1,313	27,077	0,015	7,079	0,002
КЗ C_r	—	200,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-20,00	0,000
Зменшення індуктивності L_r	2,70E-06	2,365	30,033	1,502	30,832	0,023	10,836	0,004
	1,50E-06	3,745	19,712	0,986	20,512	0,003	0,516	0,004
	7,50E-07	5,308	25,350	1,267	26,151	0,014	6,155	0,004
	3,00E-09	2,355	29,613	1,481	30,413	0,022	10,415	0,002
Обрив L_r	—	0,955	19,103	0,955	0,000	0,000	-0,096	19,904
КЗ L_r	—	2,364	29,755	1,488	30,557	0,022	10,557	0,000
Зменшення опору R_{on} МДН	4,95E-02	2,514	31,214	1,561	32,012	0,025	12,017	0,005
	2,75E-02	2,519	31,024	1,551	31,822	0,024	11,827	0,005
	1,38E-02	2,532	31,119	1,556	31,917	0,025	11,922	0,005
Збільшення опору R_{on} МДН	6,05E-02	2,558	31,040	1,552	31,838	0,025	11,843	0,005
	8,25E-02	2,384	30,030	1,502	30,828	0,022	10,833	0,004
	1,38E+00	2,286	21,422	1,071	22,220	0,005	2,224	0,004
Обрив МДН	—	0,955	19,103	0,955	0,000	0,000	-0,096	19,904
КЗ МДН	—	—	0,000	—	0,000	—	0,000	0,000
Зменшення опору навантаження	18	2,885	31,509	1,750	32,307	0,026	12,312	0,005
	10	4,117	25,882	2,588	26,681	0,015	6,686	0,006
	5	5,115	19,338	3,868	20,139	0,002	0,143	0,004
	0,08	20,862	16,123	20,154	16,942	0,002	-3,056	0,002
Збільшення опору навантаження	22	2,306	30,645	1,393	31,443	0,024	11,447	0,004
	30	1,654	30,579	1,019	31,377	0,023	11,381	0,004
	500	1,428	20,304	0,041	21,101	0,003	1,106	0,004
Обрив навантаження	—	0,049	33,127	0,000	32,272	0,025	12,274	0,002
КЗ навантаження	—	51,156	0,000	51,156	0,851	0,000	-19,15	0,000

3.3. Розробка алгоритму діагностики КРП ПНС

Першим етапом діагностики є збір діагностичної інформації з

					ДС1.5103.007.001.ПЗ			Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				57

контрольних точок перетворювача та збереження цих даних для подальшої обробки. Згідно алгоритму методу довідникових таблиць, наведеному у розділі 1 на рис.1.1, обробка даних починається з порівняння отриманих даних із еталонними, записаними коли перетворювач був повністю справним – другий етап діагностики. Якщо ці дані співпадають (враховуючи вказану користувачем похибку), то діагностику перетворювача завершено з результатом «В нормі».

Третім етапом діагностики саме цієї схеми КРІП ПНС є проведення математичної операції віднімання напруг на ключі та виході схеми для отримання додаткових даних і полегшення знаходження напруг-індикаторів несправностей та для відкидання нерелевантної інформації. Проаналізувавши таблицю 3.2, різниця напруг $U_{sw}-U_{out}$ набуває широкого діапазону значень, але для алгоритму важливими є лише залежні між собою різні дані, тому обрано конкретні значення різниці, а саме: 0, 19, 31 В. Коли параметри схеми в нормі, ця різниця дорівнює 0,8 В, але для несправностей, наведених у табл. 3.3 ця напруга набуває значень 0, 19, 31 В. Для полегшення процесу діагностики утворено збірну таблицю з додатковими даними середнього значення напруги котушки індуктивності $L1$ та струму споживання схеми перетворювача.

Таблиця 3.3.

$U_{sw}-U_{out}$, В	U_{L1} , В	I_{in} , А	Стан
0	0	-	Коротке замикання силового ключа
	11	-	Обрив діода $D2$
	-20	0	Обрив індуктивності $L1$
		>3	Коротке замикання конденсатора Cr
19	-	-	Обрив силового ключа та індуктивності Lr
31	-	-	Коротке замикання діода $D2$

Якщо ряд даних в таблиці співпадає із отриманими, то діагностику

успішно завершено, кінець алгоритму пошуку несправності, виведення результатів. Коли ж жоден ряд даних не співпадає, для підвищення ефективності та безпомилковості алгоритму необхідно видалити дані табл. 3.3. з табл. 3.2, а тоді вже рухатись до наступного етапу діагностики.

Четвертим етапом проведено перевірку чи струм на виході дорівнює нулю для локалізації несправностей що залишились у табл. 3.2, також для полегшення розуміння та сприйняття утворено табл. 3.4.

Таблиця 3.4

I_{out}, A	U_{out}, B	Стан
0	0	Коротке замикання конденсатора C_f
	30	Обрив навантаження

Співпадіння знайдено – діагностику завершено, якщо не знайдено – перехід до наступного етапу зі скороченням табл. 3.2

У п'ятому етапі проводиться перевірка на високі значення вихідного струму схеми для перевірки короткого замикання навантаження. Аналогічно до попередніх пунктів діагностика завершується або продовжується в залежності від отриманого результату.

Шостий етап призначений для визначення змін в опорі навантаження. Для цих цілей визначається його опір шляхом ділення напруги на струм. Так як 20 Ом - номінальне значення опору навантаження для досліджуваної схеми, то необхідно в залежності від отриманих даних вивести результат «Збільшення опору навантаження» або «Зменшення опору навантаження» і завершити діагностику. Якщо діагноз поставити ще не можна – перехід до наступного етапу з видаленням даних таблиці 3 про зміни в опорі навантаження.

У сьомому етапі відбувається перевірка чи отримані дані вхідного струму потрапляють у діапазон 0,96 - 1,3 А. Після цього дані фільтруються за

конкретними значеннями напруги на індуктивності $L1$. Для зручності утворено табл. 3.5.

Таблиця 3.5

I_{in}, A	U_{L1}, B	Стан
0,96-1,3	0	Зменшення індуктивності $L1$
	30	Коротке замикання індуктивності $L1$

Аналогічно до попередніх етапів відбувається перехід до наступного або завершення діагностики.

Восьмий етап має логічне продовження у дев'ятому і десятому тому що у них використовуються ті ж дані – вхідний струм, а діагностика відбувається на різних діапазонах пошуку. Враховуючи, що вже відсіяно багато даних з високими значеннями струму, якщо $I_{in} > 3 A$, значить в схемі відбулось зменшення індуктивності резонансного ключа. Для зручності утворено табл. 3.6.

Таблиця 3.6

I_{in}, A	U_{L1}, B	Стан
>3	-	Зменшення індуктивності Lr
1,5-1,7	-	Зменшення ємності, обрив конденсатора Cf
1,7-2	24-27	Зменшення ємності, обрив конденсатора Cr

Розробка таблиці для одинадцятого етапу полягає в тому що розробником методики шукаються залежності між даними що залишились після скорочення таблиці на всіх попередніх етапах. Для даної схеми цю діагностичну інформацію зведено в табл. 3.7.

Таблиця 3.7

U_{out}, B	U_{L1}, B	Стан
20-23	1,6	Зменшення ємності Cf
	2-3	Збільшення опору силового ключа більше ніж у 10 разів

Якщо після 11 етапу діагноз не поставлено, необхідно утворити

таблицю з можливими станами несправностей перетворювача, що залишилися та проаналізувати числа, але враховуючи невелику різницю між даними, зростає помилковість діагнозу, тому для продовження діагностики треба порівнювати часові діаграми з пункту 3.2 та отриману для несправностей що залишилися.

Таблиця 3.9

I_{in}, A	U_{out}, B	I_{out}, A	U_{sw}, B	I_{sw}, A	U_{L1}, B	Рис.	Діагноз
2,539	31,118	1,556	31,916	0,025	11,921	Рис. 3.3.а	Зменшення індуктивності $L1$
2,515	30,966	1,548	31,764	0,024	11,768	Рис. 3.3.б	
2,3	27,213	1,361	28,011	0,017	8,015	Рис. 3.3.в	
2,583	30,484	1,524	31,281	0,024	11,286	Рис. 3.5.а	Зменшення ємності Cf
2,62	30,059	1,503	30,854	0,023	10,862	Рис. 3.5.б	
2,416	30,288	1,514	31,086	0,023	11,09	Рис. 3.8.а	Зменшення ємності Cr
2,365	30,033	1,502	30,832	0,023	10,836	Рис. 3.10.а	Зменшення індуктивності Lr
2,355	29,613	1,481	30,413	0,022	10,415	Рис. 3.10.г	
2,364	29,755	1,488	30,557	0,022	10,557	Рис. 3.11.б	Коротке замикання Lr
2,558	31,04	1,552	31,838	0,025	11,843	Рис. 3.13.а	Збільшення опору силового ключа
2,384	30,03	1,502	30,828	0,022	10,833	Рис. 3.13.б	

У розділі змодельовано роботу КРІП ПНС та зібрано діагностичні дані для всіх можливих його станів при таких несправностях елементів як зміна опору, зменшення ємності та індуктивності, короткі замикання та обриви.

Запропоновано алгоритм виявлення стану КРІП ПНС по виміряним

середнім значенням напруг та струмів у контрольних точках схеми. Алгоритм має наступні переваги:

Простота, надійність, однозначність в діагнозах, не потребує значних об'ємів пам'яті та обчислювальних потужностей.

Алгоритм здатен виявляти такі стани перетворювача: нормальний стан, коротке замикання силового ключа, обрив силового ключа та індуктивності L_r , зменшення індуктивності L_r , обрив діода $D2$, коротке замикання діода $D2$, обрив індуктивності $L1$, зменшення індуктивності $L1$, коротке замикання індуктивності $L1$, коротке замикання конденсатора C_r , зменшення ємності, обрив конденсатора C_r , коротке замикання конденсатора C_f , зменшення ємності, обрив конденсатора C_f , обрив навантаження, коротке замикання навантаження, зміна опору навантаження. Вказаним методом, користуючись лише середніми значеннями, неможливо визначати зміни опору силового ключа, несуттєві зменшення індуктивностей та ємностей, тому для виявлення вказаних несправностей необхідно користуватися часовими діаграмами, посилення на які зібрано в табл. 3.9.

					ДС51.5103.007.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата		62

ВИСНОВКИ

В роботі розглянуто найбільш поширені методи діагностики електронних схем перетворювачів, що застосовуються в цілях виявлення невідповідностей та несправностей. Проведено аналіз методів діагностування електронних засобів, що застосовуються на сьогоднішній день. В результаті аналізу зроблено висновок про гнучкість застосування на практиці методу довідників.

Проведено аналіз існуючих апаратних і програмних засобів моделювання та діагностування схем перетворювачів. Аналіз показав, що сучасні методи математичного моделювання та розвиток комп'ютерних технологій дозволяють досить точно і швидко провести повний аналіз електричних схем, але існуючі програмні засоби не мають єдиної середовища, в якому можливо створювати як математичну модель об'єкта діагностування, так і доповнювати модель експериментальними даними за допомогою апаратних засобів вводу-виводу, пов'язаних з реальним фізичним об'єктом.

У роботі досягнуто такі цілі: підвищення ефективності діагностування схем квазірезонансних перетворювачів та розробка систем діагностування і засобів забезпечення оцінки технічного стану схеми.

Проведено аналіз електричних процесів в перетворювачах підвищуючого типу з жорсткою та м'якою комутацією, визначено переваги та недоліки у схемах з ППН та ПНС. Обрано схему КРІП ПНС у зв'язку з рядом переваг визначених при аналізі.

В ході досліджень було експериментально перевірено вплив несправностей компонентів квазірезонансного перетворювача на осцилограми струмів та напруг його елементів.

Змодельовано роботу КРІП ПНС та зібрано діагностичні дані для всіх можливих його станів при таких несправностях елементів як зміна опору, зменшення ємності та індуктивності, короткі замикання та обриви.

					ДС51.5103.007.001.ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Запропоновано алгоритм виявлення стану КРІП ПНС по виміряним середнім значенням напруг та струмів у контрольних точках схеми.

Розроблено алгоритм виявлення несправностей компонентів перетворювача за середніми значеннями струмів та напруг його елементів, з точністю до конкретного компонента;

Перевірено ефективність даного методу діагностики для квазірезонансних перетворювачів та визначено необхідність його перевірки на інших типах перетворювачів.

Достовірність і обґрунтованість досліджень, висновків і рекомендацій підтверджується узгодженням теоретичних результатів з результатами моделювання.

					ДС51.5103.007.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Діагностика DC-DC перетворювачів з квазі-імпедансною ланкою [Електронний ресурс] / Т. А. Хижняк, Т. О. Терещенко, М. Ю. Овсієнко, Л. Г. Лайкова // Мікросистеми, Електроніка та Акустика. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://doi.org/10.20535/2523-4455.2018.23.2.133300>.
2. БИРГЕР И.А. Техническая диагностика. – М.: Машиностроение, 1978.
3. Технические средства диагностирования: Справочник / В.В.Клюев, П.П.Пархоменко, В.Е.Абрамчук и др.; Под общ.ред. В.В.Клюева. – М.: Машиностроение, 1989. – 672с., ил.
4. Айзинов М.М. Избранные вопросы теории сигналов и цепей. – М.: Связь, 1971. – 349 с.,
5. Теория систем автоматического регулирования / Бесекерский В.А., Попов Е.П. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1972. – 768 с.
6. Фесечко В.О. Методи перетворення сигналів: Навч. Посіб. – К.: ІВЦ „Видавництво „Політехніка”, 2005. – 128 с.
7. Домнин И.Ф., Загrevский О.П., Федоров Д.А. Алгоритм контроля АИТ на основе аппроксимации квадратичным полиномом // Технічна електродинаміка. – 2001. – Ч.3. – С.56-59.
8. Жуйков В.Я., Терещенко Т.А., Петергеря Ю.С. Конструирование преобразований дискретных функций на конечных интервалах с заданными свойствами //Технічна електродинаміка. Тематичний випуск “Проблеми сучасної електротехніки”. – 2004. – Ч. 4. – С. 7-12.
9. Ульченко Д.О. Аналіз сигналів та побудова систем ерування перетворювачів на базі спектрально-часових методів // Автореферат дис... канд. техн. наук: 05.09.12 / НТУУ «КПІ» – Київ, 2006. – 139 с.

					<i>ДС51.5103.007.001.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

10. Трахтман А.М. Введение в обобщенную спектральную теорию сигналов. – М.: Сов. радио, 1972. – 468 с.
11. Домнин И.Ф., Севрюков О.В., Вержановская М.Р. Локализация неисправностей силовой схемы автономного инвертора тока // Third International Scientific and Technical Conference on Unconventional Electromechanical and Electrical Systems. – 1997. – Vol.2 – С.547-552.
12. Михайлов А.Н. Механизм определения неисправных элементов методом токовой диагностики // Контроль. Диагностика. – 2005. – № 10. – С. 13-16.
13. Вычислительная диагностика / Гуляев В.А.; Отв.ред. Пухов Г.Е.; АН Украины. Ин-т проблем моделирования в энергетике. – Киев.: Наук. думка, 1991. – 232 с.
14. Доценко Б.И. Диагностирование динамических систем. – К.: Техніка, 1983. – 159 с.
15. Кудрявцев В.Б. Теория тестового распознавания // Дискретная математика. – 2006. – Том 18. – № 3. – С. 3-34.
16. Шибанов Г.П. Распознавание в системах автоконтроля. – М.: Машиностроение, 1973. – 424 с.
17. Шипилов В.В. Об одном методе классификации объектов контроля радиоэлектронного оборудования // Контроль. Диагностика. – 2006. – № 7. – С. 56-59.
18. Хижняк Т.А. Диагностика вентиляных преобразователей с использованием согласованных фильтров // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск „Проблеми сучасної електротехніки”. – 2006. – Ч.3 – С. 91-96.
19. Хижняк Т.А. Определение параметров элементов полупроводниковых преобразователей по коэффициентам вейвлет-спектров // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск „Силова електроніка та енергоефективність”. – 2006. – Ч.3 – С.10-12.

20. Глазунов Л. П., Смирнов А. Н. Проектирование технических систем диагностирования //Л.: Энергоатомиздат. – 1982. – С. 168
21. Глориозов Е.Л., Ссорин В.Г., Сыпчук П.П. Введение в автоматизацию схмотехнического проектирования. — М.; Сов. радио, 1976, 224 с.
22. ГОСТ 23563-79. Техническая диагностика. Контролепригодность объектов диагностирования. Правила обеспечения. — М.: 1979.
23. ГОСТ 23564-79. Техническая диагностика. Показатели диагностирования. — М.: 1979.
24. ГОСТ 26656-85. Техническая диагностика. Контролепригодность. Общие требования. — М.: 1985.
25. Домнин И.Ф., Вержановская М.Р., Прокопенко В.Ю. Оптимизация структуры микропроцессорной системы управления прогнозного типа // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск „Силова електроніка та енергоефективність”. – 2004. – Ч.2. – С. 55-60.
26. Сокол Е.И., Якименко Ю.И., Жуйков В.Я., Вержановская М.Р. Принципы построения микропроцессорных систем управления полупроводниковыми преобразователями // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск „Силова електроніка та енергоефективність”. – 2001. – Ч.3. – С. 43-45.
27. Бэндлер Д. У., Салама А. Э. Диагностика неисправностей в аналоговых цепях //тр. ин-та инженеров по электротехнике и радиоэлектронике. – 1985. – Т. 73. – №. 8. – С. 35-87.
28. Воловиков В. В. Разработка метода комплексного моделирования физических процессов при автоматизированном проектировании бортовых электронных устройств: дис. – М.: [Моск. гос. ин-т электроники и математики], 2004.
29. Голембиовский Ю.М., Пеньков Б.С. Аварийные режимы преобразовательной сети, построенной на базе инверторов напряжения //

					ДС51.5103.007.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

Технічна електродинаміка. Тематичний випуск „Силовая електроніка та енергоефективність”. – 2004. – Ч. 3. – С. 31-34.

30. Климов В., Портнов А., Коротков В., Смирнов В., Сыромятников С., Бейм Р. Однофазные источники бесперебойного питания серии ДПК: динамические и спектральные характеристики // Силовая электроника. – 2007. – № 2. – С. 53-56.

31. Колпаков А. Схемотехника мощных высоковольтных преобразователей // Силовая электроника. – 2007. – № 2. – С.44-50.

32. Котенев С., Евсеев А. Переходные процессы при включении трансформатора в сеть с синусоидальным напряжением // Силовая электроника. – 2005. – № 4. – С.34-37.

33. Аронов В.Л., Федотов Я.А. Испытание и исследование полупроводниковых приборов. Учебн. Пособие для специальностей полупроводниковой техники вузов. – М.: Высшая школа, 1975. – 325 с.

34. Хижняк Т.А. Діагностика напівпровідникових перетворювачів із застосуванням вейвлет-функцій m-ічного аргументу: дис. ... канд. техн. наук : 05.09.12 / Хижняк Тетяна Андріївна; М-во освіти і науки України, Нац. техн.у-т України "Київський політехнічний інститут"; наук. кер. Петергеря Ю.С. – Київ, 2008. – 182 с.

35. Андронников Д. Особенности выбора и применения резисторов в силовой технике // Силовая электроника. – 2007. – № 2. – С. 4-8.

36. Бережной В.П., Дубицкий Л.Г. Выявление причин отказов РЭА. – М.: Радио и связь, 1983. – 232 с.

37. Веденеев Г.М., Зенченко А.Н., Токарев А.Б. Силовые биполярные транзисторы при работе в ключевых режимах. – М.: Изд-во МЭИ, 1992. – 88

38. Дубицкий Л.Г. Предвестники отказов в изделиях электронной техники.– М.: Радио и связь, 1989. – 96 с.

39. Звонарев Е. Электролитические и танталовые конденсаторы Hitachi AIC // Силовая электроника. – 2007. – № 2. – С.10-14.

					ДС51.5103.007.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

40. Колпаков А. IGBT: инструкция по эксплуатации, или об уважительном отношении к силовой электронике // Силовая электроника. – 2007. – № 1. – С. 17-26.

41. Хамзин Н. Рассмотрение лавинных процессов в транзисторах серии CoolMOSTM при их использовании в импульсных источниках электропитания // Силовая электроника. – 2006. – №3. – С.40-46.

42. Шнелль Р., Камински Н. Тепловое повреждение полупроводниковых приборов в блокирующем состоянии // Силовая электроника. – 2007. – №1. – С. 92-93.

43. Как проверить конденсатор, неисправности конденсаторов и их устранение [Электронный ресурс] // Сайт Radiostorage.net. – 2019. – Режим доступа до ресурсу: <http://radiostorage.net/4167-kak-proverit-kondensator-neispravnosti-kondensatorov-i-ih-ustranenie.html>.

44. Кошелев К. С. Исследование и разработка средств защиты статического компенсатора реактивной мощности с цифровой системой управления: авто-

реф. дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.09.01. «Электромеханика и электрические аппараты» / К. С. Кошелев. – Москва, 2008. – 20 с.

45. Советы по проектированию понижающих преобразователей [Электронный ресурс] // Новости Электроники. – 2007. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.compel.ru/lib/ne/2007/8/7-sovetyi-po-proektirovaniyu-ponizhayushhih-preobrazovateley>.

46. Зиновьев Г. С. Основы силовой электроники: учеб. пособие / Г. С. Зиновьев. — 3-е изд., испр. и доп. — Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. — 672 с.

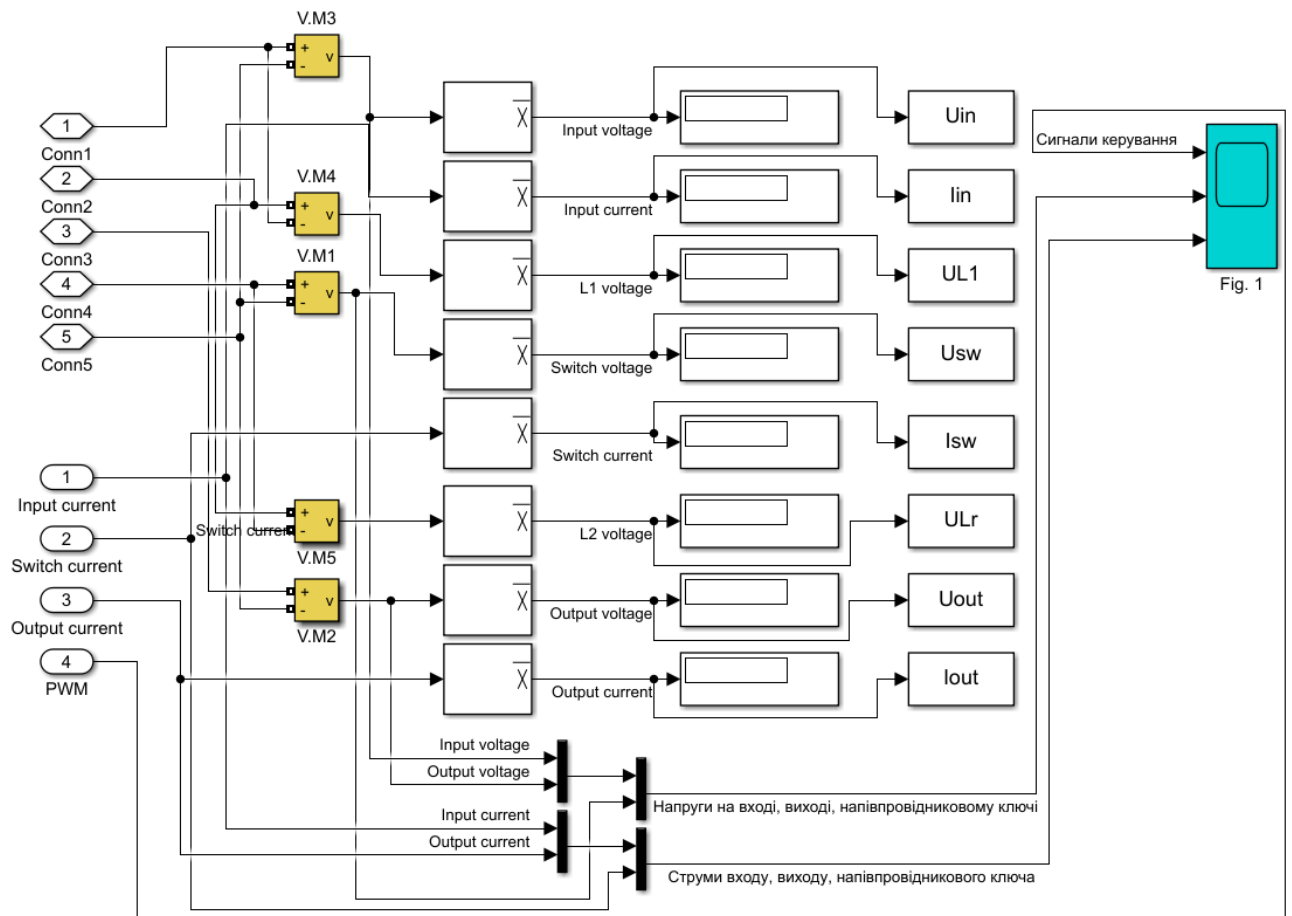
47. Abu-Qahouq J., Batarseh I. Unified steady-state analysis of soft-switching DC-DC converters // IEEE Trans. Power Electron. 2002. Vol. 17, N 5. P. 684—691.

Додаток. Перелік елементів

Позначення		Найменування			Кільк.	Примітки		
		<u>Конденсатори</u>						
C _f		50V – 2 мкФ ±5%			1			
C _r		50 V - 18 нФ ±5%			2			
		<u>Діоди</u>						
D ₂		Vishay V60D100C			1			
		<u>Котушки індуктивності</u>						
L ₁		330 мкГн ±10%			1			
L _r		2,7 мкГн ±10%			1			
		<u>Ключі</u>						
S1		IRF 730			1			

Додаток А

Модель пристрою діагностики в Simulink



ABSTRACT

The development of electronics, complications of means bring to the fore issues as management of complex electrical systems.

Many electronic devices converters are part of a high power consumption. Recently, there is a sharp increase in production volume and improve the quality of power semiconductor devices, contributing to the development and production of new generations of electric pulse converters. At any need to control the production of quality products. Also, due to the degradation of electronic components, electrical systems fail, which is why the question before engineers develop methods for diagnosis and prediction of malfunctions of electronic systems.

Methods of diagnosis of a variety of semiconductor converters and are based on the use of wavelet analysis, neural networks, time and frequency characteristics autoregressive models, theories precedents and many others.

Modern consumers require electricity converter that can operate at low input voltage, minimum pulsation output and high efficiency. The main reason for decrease in efficiency converters are power losses in the semiconductor keys. To reduce these losses probably using soft switching converters in that resonance is achieved using keys. These key underlying kvazirezonsnyh converters.

Highest efficiency is achieved when the parameters of the scheme do not differ from estimated during design. Change the settings elements - a common phenomenon at the present stage of development of electronics, so important is the identification of these abnormalities.

Methods of diagnosis semiconductor converters are very diverse and are based on the time and frequency characteristics, autoregressive models, wavelet analysis, neural networks, theory of precedent and many others. Analysis of signals that are diagnostic information describing the object and diagnostics - the basis of methods of diagnostics of electrical systems. [1]

Technical diagnostics - discipline recognition of the state of engineering systems (objects) that explores the forms manifestation technical condition develops methods and means of determining it. [2]

Tasks of technical diagnostics:

- determination of the technical state of the object diagnosis in restricted information;

- explore methods and means to obtain diagnostic information;

- development of algorithms for automated search of defects;

- minimizing the cost of diagnosis.

Technical diagnostics methods for studying and evaluating diagnostic information, and is based on two theories: the theory and the theory of recognition control suitability.

The theory, tools, methods of detection and finding defects in electrical facilities - the scope of technical diagnostics. [3] The first step of the process diagnostics - monitoring facility performance diagnostics. In case of non-working state, the second step is performed - diagnosing and troubleshooting their localization, detection of causes.

The goal of technical diagnostics semiconductor converter - the object of diagnosis is to identify its status and operating mode. Normally, when control is performed qualitative assessment (workability, defect, etc.). However, as a result of performance measurement and control operations may receive and quantitative assessment (degree of operability).

The main stages of diagnosing electrical facility:

4. collecting diagnostic information;

5. postprocessing of information;

6. analysis of diagnostic information.

Collect diagnostic information is through the use of external diagnostics system or embedded sensors. Control points and their selection is performed using sensitivity theory [4, 5]. Calculated sensitivity function determined Sensitivity of changes to certain parameters.

The information collected is:

- electrical quantities, which do not need conversion;

- electrical quantities that needs transformation;

- non-electrical quantities that needs transformation;

- such that the estimated visually.

During the second phase electrical diagnostic object data transformation taking place for the most important information about the object diagnosis. [6] Diagnostic information, for the most part, this requiring further change.

Sampling, approximation polynomials, smoothing, filtering, integration and differentiation - procedures that can be used for post-processing data. [7] Converting made using Fourier transforms, Laplace, z-transformation, spectral transformations Walsh and Haar, discrete transformations on a finite interval and wavelet transforms. [8-10]

During the third stage of diagnosis occurs information analysis and identification of the facility diagnosis. The analysis compared data collected for a specific time interval, the data stored for the previous time intervals. [11] Current method of diagnosis is one method of troubleshooting circuit elements, based on a mathematical model of the device in the form of a matrix. [12] The disadvantage of these methods of diagnosis - a requirement of only one item at every step of quantization. This condition in real circuits provide power impossible.

The theory of pattern recognition, matrix methods, correlation analysis, neural networks, methods based on matched filters, to calculate the expectation and the theory of classification [13-19] have been widely used in the determination of the object diagnosing.

The analysis of the literature [20-24] found that conventional processes of diagnosis based on the following methods:

4. The method of measurement, based on the use of test equipment.

5. Method of indicators based on highly informative staff performance indicators, on which you can with a certain probability fate establish the presence or absence of fault as a separate electronic items and group items.

6. Organoleptic method allows using human senses to detect defects in place.

The above methods include passive and more opportunities have active methods:

9. Replacement method is based on the replacement module or a suspicious item on defective. The defect is the main important eliminated if it disappeared after replacing the external manifestation.

10. Exclusion method, based on temporary circuit or break circuit elements.

11. The method of exposure based on the analysis of the behavior of the circuit for possible manipulation: scroll controls variable resistors, transistors circuit terminals (emitter to the base, emitter with collector), changes in values of voltage power supplies, etc. manipulation.

12. Elektrophon method that can detect defects that appear constantly made and assess the quality of repair.

13. Method equivalents, based on the temporary separation of the circuit and replacing them with an equivalent set of elements that equally affect it. With such schemes usually serve areas pulse generators, additional voltage source equivalents load.

The disadvantages of these methods include low efficiency, which manifests itself primarily in serial and mass production of transformers. In addition, the diagnostic manual methods can not be verified in complex electronic circuit dynamic modes.

This has necessitated the creation of methods and means of the automated control schemes converters during their production.

In troubleshooting approaches are based on parametric identification methods, detection of defective components is by getting to certain parameters of the limit.

It is assumed that the topology of the circle known. Overall, there is a subset acceptable (test) circuit nodes, which may apply and (or) output voltages and currents, and other circuit components are understood as internal (not available), for which these operations nazastosovuvani. In general, it is believed that the nominal values are known.

A distinctive feature of parametric identification methods are linearity or non-linearity of diagnostic equations. Nonlinear characteristic diagnostic definition of locally unique solution, and linear - global.

The materials [25, 26] the microprocessor control system that not only generates control pulses and adaptation options and provides load transformer and providing them with multi-protection. These tasks rely on the control systems of many modern electrical facilities.

Difficulties use of microprocessor systems diagnostics semiconductor converters and their control related to calculations for complex algorithms in real-time at high frequencies, requiring the use of high-speed microprocessor devices.

The first step in creating a guide (reference table) is forming Findings covering most of allowable types. Marked aspect is very important for the whole approach, as a result can be determined only these types of faults. It is necessary to take into account the large number of types of faults. Of course, this number depends on the size of the directory, which imposes restrictions on the use of the method.

Then circle accompanied diagnosed modeling for each hypothetical event of a fault, giving opportunity to form a whole table of input and output reactions on which lokalizovuvatymutsya determined and malfunction. Characteristics of initial reactions made to the handbook for further use in the rapid detection of faults. To ensure minimum accumulation of data that can achieve the necessary degree of certainty and localization should optimize the choice of input and output reactions.

In the process of troubleshooting diagnosed circle exposed to identical input that was used to create the directory. The received signals are compared with signals introduced to the directory. To identify the failure by one of the converter listed in the directory view problems and uncertain cases, the criterion of fault localization.

The use of electric, thermal, mechanical methods of diagnosis are more common diagnosis process of semiconductor converters and all major faults can be determined by one of the following methods or a combination thereof. The most optimal for semiconductor converters are electrical diagnostic method as the basis of these devices - the transmission of electrical signals.

In applying the reference method for electrical diagnostics, measure the voltage at the control points, corresponding to different types of defects and contribute to the database specific faults. Then the values are compared with the values in the database. The lowest value criterion corresponds location type and place of malfunction.

Then circle accompanied diagnosed modeling for each hypothetical event of a fault, giving opportunity to form a whole table of input and output reactions on which lokalizovuvatymutsya determined and malfunction. Characteristics of initial reactions made to the handbook for further use in the rapid detection of faults. To ensure minimum accumulation of data that can achieve the necessary degree of certainty and localization should optimize the choice of input and output reactions.

In the process of troubleshooting diagnosed circle exposed to identical input that was used to create the directory. The received signals are compared with signals introduced to the directory. To identify the failure by one of the converter listed in the directory view problems and uncertain cases, the criterion of fault localization.

The method is simple enough to understand and use, and in turn is universal because its use is permissible in the electrical, thermal and mechanical diagnosis.

The use of electric, thermal, mechanical methods of diagnosis are more common diagnosis process of semiconductor converters and all major faults can be determined by one of the following methods or a combination thereof. The most optimal for semiconductor converters are electrical diagnostic method as the basis of these devices - the transmission of electrical signals.

In applying the reference method for electrical diagnostics, measure the voltage at the control points, corresponding to different types of defects and contribute to the database specific faults. Then the values are compared with the values in the database. The lowest value criterion corresponds location type and place of malfunction.

Faults of semiconductor power converter usually lead to the emergence of dependent failures and accidents. Such failure greatly complicates diagnosis, so it is important to learn how to anticipate them.

Diagnostic information necessary to determine the mode and status of electronic components going into control points scheme kvazirezonsnoho converter. In this information includes the voltage on key semiconductor (MOS transistor), the resonant elements (capacitance and inductance resonance key), the uncontrolled valves (rectifier diode) and the input inductance (choke) at time dependent zero-current switching converter. Also, current diagnostic data set key semiconductor and load. It is important to note that non-emergency mode converter investigated QRC only possible when switching at zero current. In other, other than the above, cases, there is no so-called "soft switching" and QRC converter starts as a normal SHIP, albeit with lower efficiency. That is why the priority data needs to be collected depending on the state (working point) key and semiconductor inspection software switching at zero current.

If the data key and voltage control circuit passed the first test of validity, is getting these second-tier priority - voltage across the diode and inductor in a given time and comparing them with the information gathered earlier at a perfect running converters.

These differences in methods of diagnosis QRC other converter described above generalized methods for all transducers.

These third level of priority - the average value of voltages and currents of the power load, temperature semiconductor elements very inertia and to determine the state of emergency only after a suitable (15-30) iterations rather than immediately.

QRC in emergency mode converters are divided into external and internal overvoltage. [44] The external call those caused by factors outside the scheme environment. Work includes any regime because the root cause is not diagnosed, and the reaction scheme and depending on the information possible to determine exactly what it was for effect.

QRC diagnostic method was selected tabular method (reference method) due to the simplicity and reliability of the algorithm and the possibility of further writing applications for the system on the microcontroller.

Considered the most common methods of diagnostics of electronic circuits converters used in order to identify inconsistencies and malfunctions.

Also, analysis of existing hardware and software modeling and diagnosing converter circuit. The analysis showed that advanced mathematical modeling techniques and advances in computer technology enable accurately and quickly carry out a full analysis of electronic circuits, but existing software does not have a unified environment, which may create a mathematical model of the object diagnosing and complementary model experimental data using hardware IO associated with a real physical object.

Based on the review and analysis of the subject area formulated the following objectives: improving the efficiency of diagnosing schemes QR converters and development of diagnostic systems and means of technical condition assessment scheme.